

أسطورة المادة

صورة المادة فى الفيزياء الحديثة

تأليف: بول ديفيز

وجون جريبين

ترجمة: م. على يوسف على

الهيئة المصرية العامة للكتاب

هذه هي الترجمة العربية الكاملة لكتاب :

THE MATTERS MYTH

by

Paul Davies

John Gribbin

فهرس

مقدمة الطبعة العربية

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله ..

يهدف كتابنا الذى نقدمه للقارئ الكريم الى توضيح ما آل اليه العلم فى ثوبه الحديث ، وكما يراه علماء القرن العشرين ، فى مقابل ما تعارف عليه الناس طويلا فيما يتعلق بمفهوم العلم ومنهجه ، كما ارهص له كوبرنيكس ، وأسسه جاليليو ، وصاغه نيوتن ، وسار على دربهم افذاذ من العلماء ، فى شتى الفروع ، تعارفوا جميعا على الاستهداء بالمنطق البديهى كما يتصوره العقل البشرى ، كأداة لاستكشاف الحقيقة .

وللبشر عادة معروفة على مر الدهور ، هى تحميم ما يألفونه تحت شعار المنطق البديهى ، ورفض الأفكار المخالفة بدعوى « ما سمعنا بهذا فى الملة الآخرة . ان هذا الا اختلاق » . يتساوى فى هذا الاتهام أن تكون الفكرة رأيا اصلاحيا تجديديا ، أو احدى الغيبيات التى وردت فى كتاب الله الكريم ، أو نظرية علمية ثبت فيما بعد احترامها كالنظرية الكمية أو النظرية النسبية .

لقد تقدم ماكس بلانك بنظريته الكمية للجمعية العلمية ببرلين فى السابع عشر من ديسمبر عام ١٩٠٠ ، وقوبلت بالاستهجان والاعراض ، فانطوت فى غياهب النسيان لخمس سنوات تالية ، ولم يشفع لها أنها انجزت ما عجز عنه العلم بمنطقه البديهى آنذاك فى موضوع الاشعاع الحرارى . ولولا جسارة موظف مغمور فى مكتب توثيق البراءات ببرن ، لظلت ضحية هذا الانكار لزمن يعلمه الله .. لقد تبنى آينشتين هذه الفكرة المغضوب عليها ، ليجعلها أساسا لتفسيره للظاهرة الكهروضوئية ، وفقط

فى عام ١٩١٩ ، منح ماكس بلانك جائزة نوبل اعترافا بفضله فى وضع نظرية أصبحت أحد أساسين راسخين للعلم فى القرن العشرين .

هذا عن الاعتراف بالنظرية الكمية . فماذا عن الأساس الثانى ، النظرية النسبية ؟ **الاجابة ، لم تحظ بذلك الاعتراف من قبل مانحى** الجائزة المذكورة . فمما يدعو للتأمل ، **أن آينشتين حين منح جائزة نوبل** عـام ١٩٢١ ، كان بسبب تطبيقه للنظرية الكمية ، **وليس عن وضعه** للنظرية النسبية بشقيها الخاصة والعامة ، رغم ما تحقق لهما من نجاح عن العالم آنذاك ، وهو انكار يحسب على مانحى الجائزة على مر التاريخ ، وليس على آينشتين وأعماله الخالدة بكل تأكيد .

بهذا القول أهدف الى التخفيف عن القارىء الكريم وقع ما سيعرضه الكتاب من افكار غريبة عن منطقنا المألوف . **والى هذا هدف المؤلفان أيضا** فى الفصـل الرابع ، والذى وضـع لكى يسـاعد **القارىء على تقبل** افكار النظرية النسبية الغريبة . **وهنا يقول المؤلفان نفس ما يقوله رجال** الدين لمنكرى الغيبيات ، **الا يتعجل المرء رفض فكرة لمجرد عدم تقبل عقله** لها . وهى نصيحة لا احسب من تعود التواضع أمام علم الله وقدرته بحاجة اليها . فاذا كان الكتاب فى ذلك الملحق يستحث القارىء على **أن يستخدم مخيلته كما يفعل فى قراءة القصص الخيالية ليتقبل هذه الأفكار ، كخط** رجعة ضد انكار افكار النسبية فيما جاءت به ، فان خط الرجعة عندى هو « **لو كان البحر مدادا لكلمات ربى لنفد البحر قبل ان تنفد كلمات ربى ، ولو جئنا بمثله مددا** » صدق الله العظيم .

ان تصديقى لما جاء فى كتاب الله من تغير الزمن بين نظام ونظام : بين « **كن فيكون** » و « **خالدين فيها ابدا** » . و « **ان يوما عند ربك كألف سنة مما تعدون** » . و « **فى يوم كان مقداره خمسين ألف سنة** » . ولاسراء الرسول الكريم ومعراجه فى ليلة واحدة ، **لن يجعل عصيا على أن أتقبل** ما جاءت به النسبية من أن يوما فى اطار مرجعى معين **قد يساوى عدة** قرون فى اطار مرجعى آخر .

وينطبق نفس القول على ما جاءت به النظرية الكمية من افكار شبيه فى خطها بعضا من غيبيات الكتاب الكريم . من ذلك مثلا : « تعدد الأكوان ، او وجود كائنات » شبحية « لا تدركها حواسنا أو » **انا آتيك به قبل ان يرتد اليك طرفك** » . فى مقابل ما جاء من امكانية التنقل عبر الفضاء الكونى فى لمح البصر (راجع الفصل «عجائب الكم») .

ولست اقول بذلك ان القرآن قد تنبأ بالنظرية النسبية او الكمية ، كما **يحلو لبعض السذج أن يفعل فى مواطن كثيرة ، فشتان بين علم الله** وعلم البشر ، وغيبيات الله سبحانه موكول اليه تاويلها - ولكن ما اقوله هو أن التواضع فى نظرة الانسان لامكانات عقله فى تمييز الخطأ من الصواب مطلوب ، بل ومفترض اساسى ، لتقبل الأفكار ، سواء أكانت اجتماعية ام دينية أم علمية .

والربط بين الفهم العلمى وبين افكار معنوية ليست بدعا من لدنى ، فالى هذا يهدف الكتاب الذى بين أيدينا صراحة ، ويهدف كتاب على شاكلة « Beyond Science » للبروفيسور John Polkinghorne بصراحة أكثر . ولعل هذا المقتطف منه يوضح الفكرة : « ان الفيزياء قد علمتنا ان انجح النظريات هى التى يعبر عنها باجمل المعادلات » . ارايت كيف ان الجمال قد اصبح معيارا لتمحيص صحة النظريات العلمية ؟ هل كان متصورا فى العلم بمفهومه الكلاسيكى ان يكون لمثل هذه المعنويات دور فى البحث العلمى المجرد ؟ .. ولكنه العلم فى ثوبه الجديد .

واذا كان اللجوء لمعنى الجمال فى تمحيص النظريات العلمية أمرا مستغربا ، فما بالك أن يكون اساسا لوضع نظرية من النظريات أصلا . وأية نظرية ، النسبية العامة التى قد لا يغالى فى القول بأن وضعها كان من اعظم الانجازات العلمية على مر التاريخ الانسانى ؟ وفى هذا المعنى يقول الكتاب المذكور : « لقد تعلمنا درسا بليغا من بحث بول ديراك الدءوب عن المعادلات الجميلة ، ومن قبله ألبرت آينشتين فى نظريته النسبية العامة » . ولو أتيح للقارىء الكريم الاطلاع على قصة حياة آينشتين كما كتبها مساعده ريتشارد هوفمان (تحت الطبع فى الهيئة

العربية العامة للكتاب) ، لوجد كيف ركز المؤلف على ان وضع هذه النظرية كان مبنيا ، وليس على اى شىء آخر ، على احساس آينشتين بوحدانية الله وجمال خلقه ، مما دعانى الى ان اصف هذه النظرية فى مقدمتى للكتاب المذكور بانها « صورة فريدة من صور التسبيح بوحدانية الله » .

لقد نزع العلم عن نفسه ثوبا الزرب له « قميص الاكمام » ، ليستبدل به ثوبا فضفاضا يتسع لمعان مستقاة من روافد آخرى للمعرفة الانسانية، معان تتسع للخير والجمال ، وسبحان القائل : « **سنريهم آياتنا فى الآفاق وفى انفسهم حتى يتبين لهم انه الحق** » .. صدق الله العظيم .

مقـــــدمة

ان اضفاء صفة الثورية على العلم أصبح من التعبيرات الدارجة ، ومع ذلك ، فحتى أولئك الذين ليست لهم الا علاقة سطحية بالعلوم يحسون بان هناك شيئا ثوريا حقيقيا يحدث فى مضماره . ولسنا نشير بذلك الى ما يظهر من اختراعات بين الحين والآخر ، ولا الى ما نشهده من تقدم فى مجالات التقنية مهما كان مذهلا ، رغم كون هذه وتلك تحمل صفة الثورية بكل معانيها . ذلك ان تحولا اعمق يجرى فى أساس العلم ذاته ، فى النظرة التى يرى بها العلماء العالم .

وقد ذهب الفيلسوف « توماس كون Thomas Kohn » الى أن العلماء يبنون تصوراتهم عن الحقيقة بناء على « نمط قياسى Paradigm » فكرى . مثل هذا النمط ليس نظرية فى حد ذاته ، ولكنه اطار للفكر ، أو ان شئت القول ، منهج لاستنباط المفاهيم ، يتشكل حوله تفسير مشاهدات وبيانات التجارب العلمية . هذا النمط القياسى يعتريه التغير بين الحين والآخر ، وحين يحدث ذلك ، لا تتغير النظريات فحسب ، ولكنها المفاهيم العلمية تتغير كذلك ، ومن ثم تتبدل نظرة العلماء للعالم . وهو ما نشهده الآن .

وما يتسع حاليا من قول باننا وسط تحول فى نمط التفكير العلمى لا يمثل سوى جزء من الحقيقة . فقد أدرك الكثيرون أن مفاهيم غريبة متحدية لادراكنا البشرى طفت على السطح فى السنوات الأخيرة ، فما الثقوب السوداء ، والثقوب الديدانية ، وخطوط الكم الشبحية ، والهيولية chaos ، والحواسب الذكية ، كمجرد القليل من كثير ، سوى قمة لجبل

الجديد . ذلك أنه كلما اقتربنا من نهاية القرن العشرين ، زاد تحرر العلم من أغلال فكرية كبلته لقرون ثلاثة ، يطلق عليها « الميكانيكية » ، تعنى وببساطة شديدة تصوير الكون كآلة هائلة ، منضبطة فى كل أجزائها . تدور بلا انقطاع أو عطف . ويمكن أن تعود بأسس هذا النمط الفكرى لقدماء الاغريق ، الا أن جذوره الحديثة ترجع لاسحق نيوتن الذى صاغ قوانين الميكانيكا الشهيرة ، والتى بمقتضاها فتح الباب أمام الادعاء بأن كافة النظم الفيزيقية يمكن النظر اليها كجزء من النظام الميكانيكى . وهذا الزعم هو ما دخلنا به القرن العشرين .

الا أن الحركة تجاه « ما بعد المادية » كنمط فكرى مناسب للقرن التالى يتم على نطاق واسع : فى علم الكونيات ، وكيمياء الأنظمة ذاتية التنظيم ، والنظم الهيولية ، وميكانيكا الكم ، وفيزياء الجسيمات ، ونظم المعلومات ، و (على شيء من التردد) المنطقة المشتركة بين البيولوجيا والفيزياء . فى كل تلك الفروع من العلم وجد العلماء أنه من المجدى ، بل ومن الضرورى ، أن ينظر للجزء من الكون الذي تبه أبحاثهم نظرة جديدة تماما ، لا تحمل سوى النزر اليسير من التصور الميكانيكى للكون ذى الصفة المادية الصرف .

ولقد وصف الفيزيائى «جوزيف فورد» **Joseph Ford** المنطق الميكانيكى المادى بأنه أحد « الأساطير القاعدية » للعلم الكلاسيكى - والاسطورة بالطبع ليست تمثيلا حرفيا للحقيقة . فهل لنا أن نتصور على ذلك أن ما حدث من تقدم علمى على مدى القرون الثلاثة الماضية كان على أساس فهم خاطىء لحقيقة الطبيعة ؟ كلا . فهذا سوء فهم لدور الأطر الفكرية . فالاطار الفكرى لا هو بالصحيح ولا بالخاطىء . انه ليس الا انعكاسا للتصور ، تصوير للحقيقة له وجاهته طبقا للظروف ، بالضبط كما الأسطورة ، تحمل بعضا من التصورات الرمزية التى لها فائدتها فى ظروف ما . ولقد لعب المنطق الميكانيكى دورا بلغ من النجاح درجة ولدت لدينا ميلا فطريا لاعطائه صفة الحقيقة القاطعة ، وليس تصويرا معينا لها . ولقد تعرف العلماء مدى محدودية هذا النمط الفكرى ، وادركوا أنه يوجد الكثير خلاف التروس والمجلات كمكونات لهذا العالم .

وفى هذا المؤلف نستكشف هذه التغيرات المثيرة والمتحدية ، ومدى ملاءمتها لنا ، وليس فقط للعلماء .

وفى سردنا للقصة ، علينا أن نسبر أغوارا عميقة فى العلم . ولكننا آلينا على أنفسنا أن نجعل الحديث فى أبسط صورة ممكنة له ، وعزفنا على وجه الخصوص عن الرياضيات كلية ، حتى ولو كانت بعض المفاهيم الفيزيقية لا تجد معنى حقيقيا لها الا فى نطاق التعبير عنها رياضيا . فهدفنا هو اعطاء لمحة عن الصورة التى تبزغ شيئا فشيئا عن الكون وهى صورة لا تزال تعذبنا بمراوغتها . الا أنها تشدنا لما تحقق بالفعل من تقدم . وليس لدينا من شك فى أن الثورة التى قدر لنا أن نكون عليها شهودا محظوظين ، سوف تغير جذريا نظرة البشر للكون .

بول ديفيز Paul Davies

جون جريبن John Gribbin

فبراير ١٩٩١

الفصـل الأول

مـوت المـادة

نعلم من مشاهداتنا اليومية أن أشياء تقبل التغيير ، بينما أشياء أخرى ليست كذلك . كلما نتقدم في العمر ، وقد نزداد حكمة ، ولكن « أنفسنا » التي اعتراها مثل هذه التغيرات هي نفسها لم تتغير . ونشهد كل يوم الجديد من الحوادث ، ولكن الشمس والنجوم على طبيعتها الثابتة . فالى أي مدى تكون مثل هذه الأمور مجرد تصورات منا ، محدودة بحواسنا البشرية ؟

وقد أثار قدماء الاغريق جدلا واسعا حول طبيعة التغيير . فقد ذهب « هرقليطس Heraclitus » الى أن كل شيء معرض للتغيير بصـورة أو بأخرى ، بينما اتجه « بارمنيدس Parmenides » الى الرأي بأن الأشياء على ما هي عليه ، وليس لها أن تكون خلاف ذلك . وبالتالي لا يكون التغيير ملازما للوجود ، فالحقيقة لا تكون كذلك الا في ثوب من الثبات .

وفي القرن الخامس قبل الميلاد عرض « ديموقريطس Dimocritus » مخرجا من هذه المشكلة . فقد افترض أن كل المواد مخلوقة من وحدات غاية في الضآلة لا تقبل التجزئة ، أسماها « ذرات atoms » . وهذه الذرات هي التي لا تقبل التغيير . فهي ذات مواصفات محددة كالشكل والحجم . الا أنها قد تتجول في الفراغ وتتحد سويا بطرائق مختلفة ، مما يجعل الأجسام المرئية تبدو في صور متباينة . وبذلك يمكن الجمع بين التصورين .

دوام التغير ودوام الثبات ، على أساس أن كل تغيير في العالم المرئي مبني على اعادة للترتيب للمكونات الثابتة . ومنذ ذلك الحين بدأ اعتناق مذهب المادية **materialism** .

وكان على هذا المذهب أن يكافح ضد غيره من الأفكار لعدة قرون تلت ، كأن تكون المواد حاوية على خواص سحرية أو فعالة ، أو أنها تتمتع بقوى حيوية أو غامضة . هذه الصور الغيبية اندحرت مع تقدم العلم في صورته الحديثة ، وتتمثل خطوة حاسمة في هذا المضمار في كتاب « المبادئ أو البرنسيبيا **Principia** » لاسحاق نيوتن ، وهو الكتاب الذي حوى قوانين نيوتن الشهيرة للحركة . وكما ذهب ديموقريطس من قبله ، عامل نيوتن المادة كشيء خامد غير فعـال . ففكرة « القصـور **inertia** » تلعب دورا أساسيا في نظريته عن العالم . فلو وجدت مادة في حالة من السكون ، فهي ستظل كذلك للأبد ، ما لم تؤثر عليها قوة من خارجها . وبالمثل ، لو كانت في حالة من الحركة ، فستظل في نفس الاتجاه ونفس السرعة ما لم تتعرض لقوة خارجيـة . وبمعنى آخر ، المادة في حالة من السلبية المطلقة .

وتعبر كلمات نيوتن نفسه عن كل ذلك . فالمادة تتكون من « جسيمات متكتلة (ذات كتلة) صلبة لا تقبل الاختراق ، قابلة للحركة » . وليس من فرق لديه بين الجسيمات المكونة للمادة وما تكونه من مواد مرئية سوى قابلية الاختراق .

عصر الآلات :

تعمقت نظرة نيوتن للمادة كشيء خامد يتشكل بالقوى الخارجية في الفكر الغربي ، وقبلت كمبدأ أصيل في عصر الثورة الصناعية الذي تمخض عن ثروة وقوة هائلتين . ففي القرنين الثامن عشر والتاسع عشر طوعت أوربا وسخرت قوى الطبيعة لأغراضها الانتاجية . فمع البخار والصلب ظهرت القاطرات والبواخر العملاقة ، وغيرها مما غير وجه البسيطة حرفيا وليس مجازا . ومرتبطة بذلك تولدت الحمية للتملك ، في صورة أو أخرى .

وفيست الثروة بممتلكات الأراضي أو اطنان الفحم أو الذهب أو أية سلعة أخرى .

وكانت الثورة الصناعية عصر الثقة المفرطة ، أوج انتصار المادية . لم تكن ثقة المهندسين مبنية على مجرد النجاح بناء على التجربة والخطأ ، بل على كم من المعرفة والفهم للمبادئ التي تأسس عليها عصر الآلات ، مبادئ وضعها نيوتن منذ قرنين من الزمان . وازدانت تبلوروا على أيدي المدينة ممن تلوه .

وفي عصر كتابة « البرنسيبيا » ، كانت أغلب الآلات المعقدة هي الساعات . فسنت نظرته للعالم كساعة منضبطة وترا حساسا . فالساعة تمثل النظام ، والتناسق ، والدقة الرياضية ، أفكار توافقت جيدا مع الفكر الديني السائد . وولت أيام النظر للكون ككائن حي مزود بقوى سحرية . لقد أوجدت آلات نيوتن رباطا وثيقا بين السبب والنتيجة ، إذ يتطلب الحساب الميكانيكي أن تتحرك المادة بناء على قوانين رياضية قاطعة . ليس من مجال فيها لصفات غامضة ذاتية الفعالية . وفي الواقع مثلت السماوات ـ وهي التي ارتبطت على الدوام بمثل هذه القوى السحرية ـ حين انخضعت تماما لقوانين نيوتن قمة انتصار آرائه . فبربط الجاذبية بقوانينه للحركة أمكن له أن يعطي تبريرا مقنعا لحركة القمر ومسارات الكواكب والمذنبات .

وليس لنا أن نقلل من أثر هذا التصور على تشكيل النظرة للعالم . فمذهب الكون المخلوق من مواد خامدة مرتبطة بآلة هائلة منضبطة كالساعات تغلغلت في كافة فروع المعرفة . فهي قد تسودت البيولوجيا مثلا ، فنظرت للوحدات الأولية الحية كمجرد تجمعات معقدة من الذرات تخضع بصورة صماء للجذب والدفع من جيرانها . وقد أطلق « ريتشارد داوكنز **Ritchard Dawkins** » الفارس المفوه للبيولوجيا المادية ، على الانسـان (وغيره من المخلوقات الحية) « الآلات الجينيـة » . وعلى ذلك عوملت الكائنات الحية كآلات ذاتية الحركة . بل اخترقت هذه الأفكار مجال العلوم النفسية ، فذهبت المدرسة السلوكية الى معاملة كافة الأنشطة الفردية على

غرار النموذج الديناميكي لنيوتن ، يلعب فيه العقل دورا سلبيا ، وتترتب الاستجابة السلوكية بصورة آلية على القوى والمؤثرات الخارجية .

ليس من شك أن نظرة نيوتن الآلية كان لها فضل كبير على تقدم العلم بتقديم منهج فكر أمكن من خلاله دراسة العديد من الظواهر . ولكن ليس من شك أيضا في أنها ساهمت بقدر كبير في ابعاد البشر عن الكون الذي يقطنونه . وقد كتب « دونالد ماكاي Donald Mackay » وهو خبير في عمل العقل كنظام للاتصالات ، عن « مرض العقلية الميكنة » ، مبينا أنه « توجد نزعة متزايدة في عصرنا الحالي عند البحث عن تفسير ما أن نتصور كل موقف على أساس المقارنة بالآلة » . وحين تمتد هذه النزعة الى مجالات انسانية ، كالسياسة والاقتصاد ، فان ذلك يؤدي الى اللاأخلاقية واللاشخصانية ، يشعر معها الناس بانعدام الحيلة ، لكونهم مجرد تروس في الآلة الهائلة التي تدور غير عابئة بمشاعرهم أو افعالهم . ولقد عزف أناس عن النظرة العلمية لكونها نظرة مادية وفلسفة جرداء ، تهبط بالانسان الى الآلية ولا تدع مجالا للابداع والخلق . ولمثل هؤلاء نبشرهم : لقد ماتت المادية .

فيزياء جديدة لنظام اجتماعي جديد :

من الملائم أن تشهد الفيزياء ـ وهي العلم الذي أبدع المادية ـ أيضا نهايتها . وخلال هذا القرن نسفت الفيزياء الحديثة في تطورات متصلة أسس المذهب المادي . فأولا كانت النظرية النسبية ، التي هدمت فكرة نيوتن عن الفراغ والزمن بافتراضات تصطدم بالاحساس الفطري بالعالم . فنفس الحلبة التي كانت تدور فيها الساعة الكونية الهائلة تعرضت للتزحزح والالتواء . ثم من بعدها أتت النظرية الكمية ، والتي غيرت من تصورنا للمادة تغييرا جذريا ، وهجر افتراض أن الجسيمات الأولية ما هي الا صورة من الأجسام المرئية لكن بمقياس أصغر ، واستبدلت بآلة نيوتن المنضبطة خليطا مبهما ملغزا من الموجات والجسيمات ، تلعب فيه القوانين الاحتمالية دورا حاسما ، كبديل للقواعد السببية القاطعة . وتذهب نظرية هي امتداد للنظرية الكمية ، وهي « النظرية المجالية الكمية quantum field theory »

لما هو أبعد من ذلك ، فترسم صورة تختفي منها المادة الصماء ، وتتبدل الى تهيج وتذبذب غريبين « للطاقة المجالية field energy » . وتبعا لتلك النظرية ، لم يتبق الا القليل من التفرقة بين جوهر المادة والفراغ الخالي ظاهريا والمحيط بها ، والذي هو ذاته مجال لتهيج جامح الوطيس للنشاط الكمي . وتصل هذه الأفكار ذروتها فيما يسمى بنظرية « الأوتار الفائقة superstrings » ، والتي تهدف الى توحيد الفراغ والزمن والمادة ، والى بناء كل منها من ذبذبات حلقات دون مجهرية من أوتار غير مرئية ، تقبع في كون تخيلي من عشرة أبعاد .

وتحط فيزياء الكم من المادية لكونها تبين أن المادة لها جوهر أقل بكثير مما كنا نعتقد . ولكن تطورا يذهب الى أبعد من ذلك يهدم صورة نيوتن للمادة ككتلة خامدة . هذا التطور هو « نظرية الهيولية (*) theory of chaos » والتي نالت مؤخرا قدرا كبيرا من الاهتمام . والهيولية هي في الواقع جزء من ثورة جامحة في طريقة رؤية العلماء الآن للنظم الديناميكية . ولقد اتضح أن ما يسمى بـ « التأثيرات غير الخطية non-linear effects » تجعل المادة تتصرف تصرفات غاية في الغرابة ، كأن تكون ذاتية التنظيم ، وخلاقة للهياكل والنماذج بصورة تلقائية . والهيولية من هذا التطور هي حالة من ذلك ، تحدث في النظم غير الخطية التي تصبح غير مستقرة وتتغير كيفما اتفق بصورة غير قابلة للتنبؤ تماما . وبذلك تتبخر الساعة الكونية المنضبطة لتفسح المجال لعالم ذي مستقبل منفتح ، تتحرر المادة فيه من قيود تكتلها وتكتسب عنصرا خلاقا .

وسوف نفحص في الفصول القادمة كل هذه التطورات التي تأخذ بالألباب ، ونتعرف على العالم الذي يتمخض عنها . وسوف نرى أن المادة قد أزيلت من موضعها المركزي لتحل محلها مفاهيم مثل التنظيم ، التعقيد ، والمعلوماتية . ويقوم ذلك بالفعل باعادة تشكيل أولوياتنا الاجتماعية ، خذ مثلا « ثورة تكنولوجيا المعلومات » ، حيث يتوقع أن يكون المستقبل للشركات القادرة على حيازة قصب السبق في المعلومات والاستراتيجيات التنظيمية ، على حساب الثروة المادية التي كانت عماد الثروة الصناعية الأولى . وعلى حد تعبير الكاتب جورج جيلدر :

(*) في بعض المراجع يشار لها بنظرية الفوضى .

« ان الأمم والمؤسسات الصاعدة اليوم هي المسيطرة ليس على الأراضي والمصادر المادية ، ولكن على الأفكار والتكنولوجيات ... فالشبكة العالمية للاتصالات يمكنها أن تحمل بضائع أكثر قيمة مما تحمله البواخر العملاقة ، ولسوف تأتي الثروة ليس لمستغل العبيد ، ولكن لمطلقي الطاقة الخلاقة للانسان ، ليس لغزاة الأراضي ولكن لمحرري العقول » .

ويستطرد جيلدر : « وفي هذا التخلي عن المادية ستتفوق قدرة العقل في كل مكان على القدرة الغاشمة للأشياء ، محولة عالما ماديا مكونا من أجسام صماء خامدة الى مجال ثرى بومضات مشرقة من الطاقة المعلوماتية » .

وليس من دولة تواجه مثل هذا التحدي مثل استراليا . فعلى مدى تاريخها كان اقتصادها منحصرا في صادرات مثل الفحم واليورانيوم والصوف ، ولأسباب تاريخية واقتصادية لم تحظ بتطور تصنيعي ، حيث انها لم تلحق بالثورة الصناعية التي شكلت مجتمعات كالولايات المتحدة واليابان وأوربا . وعلى ضوء تفكير مستنير ، اتخذت الحكومة قرارا غير عادي ، أن تقفز فوق مرحلة الثورة الصناعية ، وأن تقتحم سوق الأفكار والمعلومات والتعليم . وقد أعلن رئيس وزرائها أن على استراليا الا تقنع بكونها « الدولة المحظوظة » ، بل أن تتحول الى « الدولة الماهرة » .

وتتمثل النتيجة الملموسة حتى الآن لهذا القرار في خطة لانشاء طراز جديد من المدن ، يعرف باسم « مدينة الأنشطة المتعددة multifunction Police (MFP) » مقرها أدليد Adelaide وفي هذه سوف تنشأ معاهد للأبحاث ، وتصمم نظم للبيئة على أسس علمية ، وتقدم التسهيلات الصحية والترفيهية المتطورة . وستصمم المدينة على مفهوم الشبكات ، بمعنى أنها ستتكون على هيئة قرى مستقلة مترابطة بشبكات اتصالات على أعلى مستوى تكنولوجي من السرعة والكفاءة . كما سترتبط المدينة بغيرها من مدن الدولة ، وثيقا وثيقا مع مدن العالم بما ينتهي بكسر العزلة الجغرافية لاستراليا .

ولعل أكثر العناصر خيالا في المشروع هو الاعتراف بأن التعليم والأبحاث العلمية هي مصادر للثروة عالية القيمة، يمكن تسويقها كأية سلعة أخرى. ومن خلال الشبكة العالمية يمكن أن تلقى المحاضرات لبلدان العالم الثالث ، ويمكن أن تجرى العمليات الجراحية في جانب ما من العالم وتراقب من الجانب الآخر . ولتنفيذ ذلك سوف تنشأ في المدينة المذكورة « جامعة عالمية » ترتبط مع الجامعات المحلية والعالمية ، وبمعنى آخر تطوير للجامعة المفتوحة التي ارتادت بها بريطانيا هذه الفكرة ولكن على مستوى عالمي باستغلال التطور التكنولوجي في الاتصالات .

وهذه الخطط المستقبلية لاستراليا ستصبح نماذج تعمم على مستوى العالم ، تتضاءل معها قيمة السلع المادية لتتزايد قيم السلع الذهنية من أفكار ومعلومات ، ويرتكز النظام الاجتماعي الجديد ليس على مفهوم الساعة الكونية النيوتونية ، بل على صورة الشبكات لعالم ما بعد نيوتن . ذلك أننا نعيش في شبكة كونية ، وليس ساعة كونية ، شبكة من القوى والمجالات ، ومن ترابطات كمية ، ومن مادة خلاقة غير خطية الخواص .

طبيعة الحقيقة العلمية :

في تخلينا عن النظرة القديمة للعالم ، فان تغييرا حاسما في نمط التفكير يغير مفهومنا للحقيقة ، والتي كانت تبنى على أساس فهم فطرى للسببية ، فبينما كانت الصورة النيوتونية للحقيقة على أساس الادراك الانساني الفطرى مفيدة في عهد ما ، فانه في عالم التجريد الفيزيائي العجيب ليس لدينا من وسيلة سوى المعادلات الرياضية المعقدة لتفهم الطبيعة . وفي تخلينا عن المفهوم النيوتوني الذي علينا تقبل أن الأشياء في نماذجنا النظرية وكينونات العالم الخارجي تحمل علاقات أكثر خفاء مما افترضناه حتى الآن ، بل انه في الواقع ، ان ما نعنيه أصلا بالحقيقة والواقعية يجب أن يعاد تشكيلهما .

ورغم أننا نعيش فيما يسمى بعصر العلم ، فان العلم وحده ليس النظام الوحيد للفكر الذي يجدر اتباعها . فالعديد من الديانات والفلسفات

تدعى أنها تقدم نظرات عن العالم أكثر غنى وشمولية . فالقضية بالنسبة للعلم ترتكز على ادعاء أنه يتعامل مع الواقع . فمهما كانت النظرية العلمية جميلة الصياغة ، ومهما كان حظ واضعها من الشهرة ، فهى لن تكون مقبولة ، ما لم تعززها نتائج التجارب .

ان النظرة للعلم كأساس خالص وموضوعى لاستجلاء الحقيقة عن معايشة العالم الواقعى هى نظرة مثالية . فالواقع يبين أن الحقيقة العلمية كثيرا ما تكون أكثر خفاء وضبابية .

فى قلب الطريقة العلمية تكمن صياغة النظريات . وهى أساسا نمذجة للحقيقة ، أو جزء منها ، ويهتم قدر كبير من مفردات العلم بالنماذج أكثر من الحقيقة . فعلى سبيل المثال ، يستخدم العلماء غالبا كلمة « اكتشاف » للاشارة الى تقدم علمى خالص . وعلى ذلك فاننا نسمع أن « ستيفن هوكنج » قد « اكتشف » الثقوب السوداء ، هذا القول يشير حقيقة لتحليل رياضى ، فلم يتمكن أحد للآن من رؤية مثل هذه الأجرام ، أو حتى استشعار أية اشعاعات حرارية منها .

ان العلاقة بين النمذجة العلمية والواقع الذى تدعى أنها تعبر عنه لتثير قضية أعمق ، ولتوضيح المشكلة ، سنبدأ بشىء مباشر للغاية ، فى القرنين السادس عشر والسابع عشر قلبت أعمال كوبرنيكس وكبلر وجاليليو ونيوتن معتقدات دينية سادت لقرون عن مركز الأرض بالنسبة للكون ، وقد قدم جاليليو للمحاكمة امام الكنيسة لموافقته لكوبرنيكس فى دوران الأرض حول الشمس ، الأمر الذى يتعارض مع نظرة الانجيل للفلك التى تجعل من الأرض مركزا للكون .

والحقيقة المثيرة للدهشة أن السلطات الكنسية لم تعترض على مفهوم حركة الأرض حينما استخدم كنموذج لحساب حركة الأجرام السماوية ، فالذى أثار اعتراضهم هو الاعتقاد بأنها تتحرك حقيقة . ولكن هذا يثير سؤالا محيرا ، متى يعتبر النموذج مجرد أداة حسابية ، ومتى يعتبر وصفا للحقيقة ؟

لقد بدأ العلم كامتداد للمنطق الفطرى يستمد منه ويسبطه بتجربة أكبر . وعلى ذلك فحينما يبدأ العلماء فى وضع النظريات فانهم غالبا ما يأخذون العالم بحقيقته السطحية . ولذا فحينما بدأ الفلكيون الأقدمون فى معالجة موضوع حركة الأجرام السماوية ، قاموا بوضع نموذج للكون يمثل الأرض فيه مركزا لكرات متحركة تحمل الشمس والقمر والنجوم والكواكب . وبزيادة الدقة فى الملاحظة كان من اللازم تعديل النموذج ليشمل المزيد من الكرات ، والكرات المتداخلة . وازداد النموذج تعقيدا . وحين وضع كوبرنيكس الشمس فى المركز ، تبسط النموذج بصورة جذرية .

واليوم ، لا يشك عالم فى كون الشمس مركز المجموعة الشمسية ، وان الأرض هى التى تدور وليست السماء . ولكن هل يؤسس هذا حقا على مجرد أن نموذج الشمس المتمركزة أبسط من الأرض المتمركزة ؟ أم أن المسألة أعمق من ذلك ؟

ان النظريات العلمية يفترض أن تكون مجرد تصوير للحقيقة ، وليست هى الحقيقة ذاتها . ولقد بدا من الواضح أنه مهما حاولنا من تعديل لنموذج الدوائر المتداخلة ليكون أكثر دقة فى حساب مواضع الأجرام السماوية ، فسيظل هناك خطأ بمعنى أو بآخر . والمشكلة كيف يتسنى لنا أن نعرف أن وصفنا اليوم للنظام الشمسى صحيح ؟ مهما كانت درجة تأكدنا من الصورة الحالية ، فليس لنا أن نستبعد كلية أن صورة أكثر دقة قد تكتشف فى المستقبل . وطالما أن النماذج العلمية مرتبطة برباط قوى بالتجارب ، حيث يكون المنطق البديهى مرشدا يعول عليه ، فنحن نشعر بثقة فى قدرتنا على التمييز بين النموذج والحقيقة . ولكن هذا ليس ميسرا فى بعض فروع الفيزياء . فمفهوم الطاقة مثلا مألوف لنا اليوم ، ولكنه كان قد أدخل فى الأصل ككمية رياضية بحتة لتيسير وصف بعض عمليات الديناميكا الحرارية . ونحن لا نرى مثل هذه الطاقة ، ولكننا نتقبل وجودها لكوننا قد تعودنا على استخدام هذا المصطلح .

والوضع أشد سوءا فى الفيزياء الحديثة ، حيث أحيانا ما تنمبع الحدود بين النموذج والحقيقة بدرجة تدعو لليأس . ففى نظرية المجال الكمى على سبيل المثال ، غالبا ما يشير العلماء لكينونات مجردة مثل الجسيمات « التقديرية » . هذه الأشياء اللحظية الوجود تتخلق من لا شيء ، وغالبا ما تتلاشى فى لمح البصر . وعلى الرغم من امكانية رصد اثر وجودها العابر على المادة العادية ، الا انها هى ذاتها غير قابلة للرؤية . فالى اى مدى يمكننا القطع بوجودها حقيقة ؟ هل الجسيمات التقديرية هى مجرد وسيلة تساعد المنظرين على وصف عمليات يستحيل وصفها بمسميات الأشياء المألوفة ، أم أنها – كالدوائر المتداخلة – جزء أساسى من نموذج سيكتشف خطؤه فى المستقبل ، ويستبدل به ما هو أحدث ؟

ما الحقيقة ؟

بصفة عامة ، كلما ابتعد العلم عن المنطق البديهى ، صعب التمييز بين النموذج وما يفترض اعتباره وصفا أمينا للعالم الواقعى . فمن الغرائب المرتبطة بالجسيمات الأولية ما تحمله من كتل . البروتون مثلا كتلته اثقل من الالكترون بمقدار ١٨٣٦ مرة ، لماذا هذه النسبة بالتحديد ؟ لا احد يعلم . ويضم العصر الكامل مئات من مثل هذه الأرقام . ورغم أنه يمكن استشفاف شيء من التسلسل المنظم ، الا أن القيم الدقيقة لتلك الأرقام تظل أمرا عجيبا .

وليس من المستبعد أن يخترع شخص ما آلة موسيقية تعزف على نوتة بنفس هذه الأرقام ، وروقتها سنقول ان تلك الآلة هى نموذج لكتل الجسيمات ، ولكن هل يمكن لأحد ان يقول ان هذه الكتل هى حقا نوتة فى نظام موسيقى مجرد ؟ تبدو الفكرة بلهاء ، ولكن حذار ، فقد سبق القول بأن الفيزيائيين مهتمون حاليا بنظرية الأوتار الفائقة ، والتى تدعى أن ما تخيلناه دائما على أنه جسيمات دون الذرية ما هى الا استثارة ، أو ذبذبات ، لحلقات من أوتار صغيرة ! وعلى ذلك ففكرة الآلة ليست مجنونة تماما فى نهاية الأمر . وفى المقابل ، ليس لنا أن نرى تلك الأوتار لضآلتها البالغة ، فهل لنا أن نعتبرها موجودة حقيقة ، أم مجرد تكوين نظرى ؟

واذا كان لنا أن نستعرض التاريخ ، فان للطبيعة عادة سيئة فى مداهمة حول ما هو حقيقى وما هو من صنع خيالنا . وليست الحركة الظاهرية للنجوم سوى واحدة من قائمة طويلة لحالات تضليل العلماء حين يأخذون الطبيعة بصورتها السطحية .

واليك امثلة اخرى من البيولوجيا . فالجسيمات البيولوجية لها من الخواص الواضحة ما يجعلنا نتصور أنها مطعمة بقوى خاصة . وهذه النظرية تسمى نظرية المذهب الحيوى **vitalism** ، وكان له شيوع فى مطلع هذا القرن . لقد كان هانز درايش **Hans Dreisch** مفتونا بالطريقة التى يتطور بها الجنين من بويضة ملقحة الى مخلوق كامل الأعضاء ، وما شد انتباهه بصورة خاصة مقدرة بعض الأجنة على مقاومة ما قد تتعرض له من فساد ، ويبدو له أنها تحت رقابة من قوة خفية تقود خطواتها ، أسماها **entelechy** (١) .

وقد هجر المذهب الحيوى اليوم بعد ما تم من دراسات متقدمة للبيولوجيا الجزيئية ، كاكتشاف حمض الـ **D.N.A.** والتعرف على الشفرة الجينية ، حيث اتضح أن الحياة مؤسسة على تفاعلات كيميائية لا تختلف عن تلك التى تجرى بين المواد الخامدة . وقد اتضح ما وقع فيه درايش وأمثاله من تضليل نتيجة عدم فهمهم الكيفية امكان عدد ضخم من الجزيئات أن تعمل معا بصورة تأخذ شكل التعاون المشترك دون حاجة لخطة مسبقة تفرض عليها .

وتاريخ نظرية التطور ملئ بمثل هذه الزلات . خذ مثلا كيف كانت وجهة نظر لامارك منطقية فى نظريته للنشوء والارتقاء ، وبمقتضاها تكدح الكائنات لبلوغ هدف تصبو اليه . الأسود تحاول زيادة سرعة عدوها ، لتلحق بفرائسها ، والزراف يحاول اطالة رقبته للوصول الى أوراق شجر أعلى ، وهكذا . مثل هذه المحاولات لها تأثير على النسل ، بحيث يكون الجيل التالى من الأسود أسرع بدرجة بسيطة ، ومن الزراف أطول أعناقا بقدر ما ، ويكون ابن الحداد ، بناء على هذه النظرية ،

مولودا بعضلة ساعد أقوى ، حيث ان أباه قد استعملها بدرجة أكبر طوال حياته • وبهذه النظرية تزداد المخلوقات تكيفا مع بيئتها •

ولهذه النظرية وجاهتها بناء على ما نشاهده • فالمخلوقات تكدح بالفعل للوصول لأغراضها ، والحفريات تبين أنها تزداد تكيفا مع ظروفها البيئية الخاصة مع تطور الأجيال • ولكن النظرية خاطئة ، اذ بينت التجارب أن مثل هذه الصفات لا تورث ، بل ان التغيرات بين الأجيال ، وكما بين داروين بحق ، تتم عشوائيا ، ويقوم الانتخاب الطبيعي باستبقاء الأصلح منها ، وبذلك يكون التطور في الطبيعة •

ويعتقد الفيلسوف توماس كون أن العلماء يتمسكون بمنطقهم الفكري بشدة ، فلا يبدلونه الا حين تظهر دلائل قاطعة على فساده • ومثل هذا المنطق يشكل أسلوبهم في وضع نظرياتهم • وله تأثير قوى على طريقة استخلاصهم للنتائج • واذا كان التجريبيون يفخرون بموضوعيتهم ، الا انه مع الوقت يأخذون في تكييف بياناتهم عن غير وعي لتوائم افكارهم المسبقة • واحيانا تجرى أكثر من تجربة ، ويستشف منها نفس النتيجة الخاطئة ، لأنها النتيجة المتفقة مع ما كان متوقعا •
وقنوات المريخ مثال لذلك • فما أن أعلن G. V. Schiaparelli عن وصفه لها عام ١٨٧٧ ، حتى أكد عدد من الفلكيين وجودها ، بل ووضعت لها خرائط تفصيلية • ولكن مركبة الفضاء مارينر ٤ لم تظهر أي وجود لمثل هذه « القنوات » •

أو خذ مثال نظرية « اللاهوب phlogiston » (٢) في الاحتراق • ففي القرن السابع عشر اقترح جورج ارنست شتال George Earnst Stahl انه عندما تحترق مادة أو تصدأ ، فانها تعطي مادة أعطاها ذلك الاسم • وكانت الفكرة بادية الوجاهة ، فالمواد المحترقة أو الصدئة تبدو أنها تعطي بالفعل شيئا ما • ولكن مرة أخرى يتبين خطأ هذا الرأي • اذ بينت التجارب التالية أن تلك المواد تأخذ من الهواء شيئا ما ، الا وهو الاكسوجين •

وما هذه الا أمثلة تبين كيف أن العلماء قد يرون أمورا على غير حقيقتها • وفي أحايين أخرى يفشلون في رؤية ما هو موجود • فوجود الشهب ظل أمرا مشكوكا فيه لقرون • اذ كان ضربا من الخطل الا يظن أن السماء تمطر صخورا • ولكن حالة من هذه اجبرت الجمعية العلمية الفرنسية على تغيير موقفها ، ثم تلتها بقية الجمعيات •

ما وراء المنطق البديهي ؟

حين يحدث تحول في منهج التفكير ، فغالبا ما يكون ذلك مصحوبا بخلافات حادة • ومثال على ذلك « الأثير » • فقد بين ماكسويل James Clerk Maxwell ، أن الضوء ما هو الا موجات كهرومغناطيسية. وكان من المنطقي أن هذه الموجات محتاجة لوسط لتنتشر فيه • فمن البديهيات أن الموجات تنتشر خلال شيء ما • فالموجات الصوتية تنتشر خلال الهواء ، وأمواج البحر تنتشر خلال الماء • ولما كان الضوء يصلنا من الشمس وغيرها من النجوم فيما يبدو فراغا ، كان لابد من تصور مادة غير مرئية أو محسوسة تملأ هذا الفراغ ، وتنتقل خلالها موجات الضوء •

وبلغ من ثقة العلماء بوجود هذه المادة أن أجريت التجارب لقياس سرعة الأرض بالنسبة لها • ولكن هيهات ، فقد بينت التجارب بصورة قاطعة أن الأثير ليس له وجود • وأثارت هذه النتيجة جدلا واسعا ، الى أن كان المخرج من المحنة عام ١٩٠٥ ، من خلال تغيير في منهج التفكير • فبالنظر للزمان والمكان كاشياء مرنة تتغير بحسب اطار الاسناد ، تمكن أينشتين من بيان أن نظريته النسبية تجعل من الأثير افتراضا لا داعي له • وبدلا منه عومل الضوء كاضطرابات على شكل موجات في مجال كهرومغناطيسي مستقل الوجود ، يتحول من اطار اسناد للآخر بصورة تجعل حركة الأرض خارجة عن الموضوع •

أما بالنسبة لأهل القرن الماضي ، فقد كان الأثير حقيقة موجودة • بل ان بعض الناس (ليس منهم الفيزيائيون بالطبع) ما زالوا متمسكين بالفكرة ، فكثيرا ما نسمع أن موجات الاذاعة تنتقل « عبر الأثير » ، ولكن

على سبيل التجاوز اللغوى . والسؤال هنا . كيف لنا أن نتأكد من عدم وجود الأثير ؟ فأولا وأخيرا . المجال الكهرومغناطيسي هو أيضا كينونة مجردة غير قابلة للرؤية المباشرة . يمكن للمرء مرة أخرى أن يقول ان نظرية النسبية أبسط من غيرها . ولكن بينما حالة الأرض فى دورانها حول الشمس واضحة . فان حقيقة وجود الأثير . أو المجال الكهرومغناطيسي، أو عدم وجود شيء منهما ، يظل أمرا أكثر غموضا .

وقد يبلغ التمسك بالمنطق البديهى درجة المجادلة حتى فى أكثر أفكار العلم الحديث رسوخا . فحتى بعد ما يقرب من قرن من الاختبارات الجادة لنظرية النسبية . لا تفتأ بعض المجلات العلمية تنشر بحوثا لأفراد (أغلبهم ممن ليس له وزن علمى يذكر) يدعون وجود ثغرات فى النظرية النسبية . محاولين ارجاعنا الى عهد الزمان والمكان المطلقين . والأساس المعتاد لمثل هذه الهجمات هو ان العالم لا يمكن أن يكون حقيقة على الصورة التى ادعاها آينشتين ، وان نظرية تتعامل مع الحقيقة يجب أن تكون مفهومة ببساطة فلا تلجأ الى نماذج مجردة .

على أن المصاعب الخاصة بالعلاقة بين النماذج المجردة والواقع لا يجب أن تقلل من كون العلم يتعامل مع الحقيقة . فمن الواضح أن النظريات العلمية ـ حتى فى أكثر صورها تجريدا ـ تحتوى على بعض عناصر الواقع . ولكن السؤال هو ما اذا كان بمقدورنا أن ندعى أن العلم يعبر عن الحقيقة الكاملة . هناك بالطبع علماء ينكرون أن العلم قد ادعى من قبل مثل هذا الادعاء المتبجح . فالعلم قد يفلح بدرجة كبيرة فى وصف الالكترون مثلا ، ولكنه محدود القدرة حين نتحدث عن شيء كالحب ، والمثاليات ، أو معنى الحياة . مثل هذه المعايشات هى جزء من الحقيقة ، ولكن يبدو أنها خارج مجال العلم .

ولعل هذا القصور من جانب العلم قد تسبب فى الهجمة المضادة للعلم التى نشاهدها حاليا فى العالم الغربى . والخطر أن العلم سوف

يتخلى عنه لحساب نظم من التفكير مبنية على الغيبيات لا الوقائع . والأسوأ من ذلك أن يتمسك بالعلم . ولكن لتسخيره لأفكار عقيدية . فنسمع عن « العلم الاسلامي » أو « العلم الأنثوى » . فلا يوجد بالطبع سوى علم واحد ، وهو يتعامل مع الحقائق وليس مع العقائد . والشيء المهم هو تقدير أن هذه الحقائق قد تكون محدودة ، أو قد تفشل فى شفاء غليل البعض لفهم الحقيقة المطلقة .

وقد يتساءل المرء اذا كان العلم سيظل محدود القدرة فى هذا المضمار . هل من الممكن أن نتصور العلم قادرا فى المستقبل على الاجابة عن الأسئلة الفاصلة ، والتعامل مع الحقيقة المطلقة ؟ يبدو أن الاجابة هى بالنفى ، حيث ان العلم يحتوى بداخله تعبيرا عن تصوره .

فى الثلاثينيات ، كان الفيزيقيون تحت تأثير قوى لحركة تسمى « الوضعية » « positivism » . تنشد البحث عن جذور الحقيقة فيما يمكن مشاهدته فقط . وقد ذهب مؤسسو ميكانيكا الكم ، خاصة نيلز بوهر Neils Bohr وفيرنر هايزنبرج Werner Heisenberg الى أننا حين نتحدث عن الذرة والالكترون وغيرهما ، لا يجب أن نسقط فى زلة تصورها كمجرد أشياء صغيرة تعيش على استقلال حياتها الخاصة . فميكانيكا الكم تمكننا من ربط مشاهدات مختلفة على الذرة مثلا . ويجب اعتبار النظرية على أنها اجراء لربط هذه المشاهدات فى نوع من النظام المنطقى المستقر ـ خوارزم (٢) algorithm رياضى . واستخدام كلمة « ذرة » ما هو الا طريقة غير رسمية للحديث عن هذا الخوارزم ، أو وسيلة معاونة لتدبيج هذا المعنى المجرد فى اللغة الفيزيقية ، ولكنها لا تعنى أنه توجد « كينونة » معرفة تعريفا دقيقا وذات خصائص محددة تحديدا قاطعا من موضع وسرعة .

وتعبر كلمات هايزنبرج عن هذا المعنى : « فى التجارب المتعلقة بالأحداث الذرية علينا أن نتعامل مع أشياء وحقائق ، ومع ظواهر واقعية شأنها فى ذلك شأن أية ظواهر فى حياتنا اليومية . ولكن الذرات أو الجسيمات الأولية ذاتها ليست بنفس هذه الواقعية ، فهى تكون عالما

من الاحتمالات والامكانات وليس من الأشياء والحقائق » • كما يعبر بوهر عن ذلك بقوله : « ليست الفيزياء متعلقة بماهية الأشياء ، ولكن بما يمكن أن نقوله عنها » • فبالنسبة لهؤلاء الفيزيائيين لم تتجاوز الحقيقة حقائق التجارب ، فالنتائج تظهر على أجهزة مرئية ، أما مصطلح « ذرة » فلم يعد الا شفرة لنموذج رياضي ، ليس مقصودا منه التعبير عن جزء مستقل من الواقع •

ولم يكن كل الفيزيائيين مستعدين لتقبل هذا الوضع فأينشتين على سبيل المثال عارضه بشدة ، مصرا على أن عالم الكم المجهرى يحتوى على أشياء مثل الذرات لها حقيقتها الكاملة ، كالكرسي والمائدة • والفرق من وجهة نظره هو مجرد قياس الأبعاد • كما يتمسك دافيد بوم David Bohm بنفس المنطق ، ذاهبا الى أنه توجد حقائق فعلية في العالم الكمى المجهرى ، وحتى وان كانت مشاهداتنا قاصرة عن بيانه بصورة تامة •

هذا الانقسام العميق بين العلماء حول طبيعة الحقيقة يظهر مدى التردد في القول بأن العلم يتحدث عن الحقيقة الكاملة • فميكانيكا الكم يبدو أنها تضع حدا فاصلا للعلم فيما يمكنه أن يخبر عن العالم ، وتجعل من الأشياء التى تعودنا على اعتبارها حقيقة مجرد كينونات للنمذجة •

وعلى الرغم من الدعم الهائل الذى تلقته فلسفة هايزنبرج وبوهر ، فان الرغبة في التساؤل عما يكونه العالم حقيقة ما تزال جياشة • هل الذرة موجودة حقا ؟ هل الأثير موجود حقيقة ؟ يبدو أن الاجابة هي « ربما » و « ربما لا » على الترتيب • ولكن العلم ليس قادرا بالمرة على اخبارنا •

وفى مواجهة هذا القصور قد يحلو للبعض أن يتخلى عن العلم ويلجأ للدين ، أو يعتنق نظاما من النظم الشاذة التى نشاهدها في أيامنا هذه • ولكن هذا سيكون خطأ جسيما • فمن المؤكد أنه من الأفضل لنا قبول نظام فكرى يضع قيودا غير متساهلة بالنسبة للموضوعية وللتشكك ، حتى

وان كان لا يعبر الا عن جزء من الحقيقة ، عن اعتناق عقائد من غير تبصر • وليس معنى ذلك أن الدين ليس له دور ، طالما كان متعلقا بالمسائل الخارجة عن نطاق العلم الوضعى (٤) • وبالنسبة لكثير من الناس فهذه المسائل هي الأكثر أهمية •

ويكفى هذا عن القصور في العلم ، فبعد أن عرضنا بأمانة ما لا يمكن للعلم أن يخبر عنه من الكون ، نبدأ من الآن في الحديث عما يمكن للعلم أن يقوله عن العالم الذى نعيش فيه ، والواقعية الجديدة التى تتمخض عن الفهم الحديث ليس لسلوك الجسيمات الأولية (سواء أكانت حقيقية أم لا) منفصلة ، بل مجموعات منها تعمل ، أو تتعاون ، فى نظم معقدة • ان التغيير فى المنهج الفكرى الذى نعايشه حاليا هو تحول من الفكر التجزيئى الى العمومى ، وهو تحول له عظمته ككل تغيير فى المنهج الفكرى على مر التاريخ •

هوامش الفصل الأول

---

(١) كلمة انجليزية تعنى « تحقيق الكمال » ، راجع قاموس The concise Oxford dictionary (المترجم) •

(٢) مادة كيميائية وهمية كان يعتقد – قبل اكتشاف الأكسجين – أنها مقوم أساسى من مقومات الأجسام الملتهبة – (المراجع) •

(٣) تسلسل اجرائى لحل مسألة رياضية معينة – (المترجم) •

(٤) يقول الرسول الكريم في هذا الخصوص « أنتم أعلم بأمور دنياكم » • (المترجم) •

الفصل الثاني

الهيولية وتحرر المادة

العالم باكمله مؤسس على أن العالم الفيزيقي محدد تحديدا قاطعا . وأن هذه القطعية معبر عنها بأجلى صورة في القوانين الفيزيقية • ولا أحد يعلم من أين أتت هذه القوانين . ولا لماذا تعمل بصورة تبدو مطلقة ومطردة ، ولكننا نراها تعمل من حولنا في توافق ليل نهار ، على غرار حركة الكواكب أو دقات الساعة •

على أن الانضباط ليس بهذا الاطراد . فتقلبات الطقس ، والدمار الناشئ عن الزلازل ، والشهب الساقطة من السماء ، كلها حوادث تبدو عشوائية لا ضابط لها • وليس من عجب أن يرجع الأقدمون هذه الأفعال الى نزوات الآلهة • ولكن كيف لنا أن نوفق بين هذه « الأفعال الالهية » وما يفترض من وجود قوانين يعمل الكون بمقتضاها ؟ •

ولقد نظر فلاسفة الاغريق للعالم على أنه ساحة للنزال بين قوى تنظيمية ، ينتج عنها الكون المنظم cosmos ، وقوى تعمل في اتجاه العشوائية ، ينتج عنها الهيولى chaos . وكان ينظر لمثل هذه العشوائية ، أو الهيولية ، على أنها أمر سلبي يمثل الشر • ونحن لا ننظر اليوم للحوادث الخاضعة للصدفة على أنه أمر شرير ، أو تخبط أعمى . فهي لها دورها البناء ، كما في عمليات التطور البيولوجية ، كما أن لها دورها

الهدام ، كما في سقوط جناح طائرة بسبب الاجهاد الذي تعرض له معدنه •

ورغم أن الصدف الفردية قد تبدو بلا قانون يحكمها ، الا أن العمليات العشوائية تظهر خضوعا لنظم احصائية عميقة-ففي الواقع ، يعطي مدير كازينو القمار ثقته في قوانين الصدفة بقدر ما يعطيه المهندس لقوانين الفيزياء • ولكن هذا قد يثير تناقضا ، فكيف تخضع عجلة الروليت لقوانين الفيزياء وتخضع في نفس الوقت لقوانين الصدفة ؟

هل الكون حقا آلة ؟

كما رأينا ، فقد أصبح العلماء متعودين تحت تأثير قوانين نيوتن أن ينظروا للكون كآلة منضبطة • وتجد هذه العقيدة أبلغ تعبير عنها في أعمال بيير لابلاس P. Laplace في القرن الثامن عشر . فقد نظر الى كل جسيم في الكون على أنه مقيد بقوانين الحركة تقيدا لا فكاك منه . فهذه القوانين تحكم حتى أصغر ذرة في الكون والى أدق التفاصيل • وعلى ذلك فقد رأى أنه من معرفة حالة الكون في لحظة معينة ، يمكن حساب مستقبله بكل دقة بتطبيق قوانين نيوتن للحركة •

وكما ذكرنا في الفصل الأول،فان النظر للكون كآلة تخضع لقوانين منزهة عن الخطأ قد أثر على النظرة العلمية تأثيرا بالغا • وكان هذا مناقضا تماما للنظرة الاغريقية للكون على أنه كائن حي • فالآلة ليست لديها ، ارادة حرة . فمستقبلها محدد بصرامة من بداية حياتها لنهايتها • وفي هذه الصورة لا يلعب الزمن دورا أساسيا . فالمستقبل محتو بالفعل في الحاضر . وكما عبر ايليا بريجوجين Ilya Prigogine ببلاغة . لقد حجمت صورة الاله الى مجرد كاتب للسجلات ، كل ما عليه أن يقلب صفحات التاريخ المحتوم للكون •

ومن داخل هذه الصورة الآلية الصماء للكون تكمن ضمنيا فكرة أنه لا توجد حوادث وليدة للصدفة في الطبيعة • فقد تبدو حوادث أنها

عشوائية ، ولكن تبرير ذلك هو فى جهل الانسان بتفاصيل العمليات التى تولدت عنها .

فلناخذ مثلا الحركة البراونية . جسيم ضئيل معلق فى سائل (أو ذرة غبار فى الجو) . تشاهده تحت المجهر يتحرك فى عشوائية ، مع صدامه المتواصل بجزيئات السائل (أو الهواء) من كل اتجاه . هذه الحركة هى مثال تقليدى للعمليات العشوائية التى يصعب توقعها . ولكن طبقا لمطلق لابلاس ، لو اتيح لنا ان نتعرف على تفاصيل كل حركة لكل جزىء فى السائل ، فان الحركة البراونية ستكون محددة بدقة تماثل حركات الساعة . فالعشوائية البادية فى هذه الحركة ليست الا نتيجة لنقص معلوماتنا عن حركات الآلاف من الجزيئات ، وهو نقص ناتج عن أن حواسنا ، وما لدينا من أجهزة ، ليست بالدقة التى تمكننا من الرؤية على المستوى الجزيئى .

وساد لفترة الاعتقاد بان الحوادث التى تبدو ظاهريا وليدة الصدفة هى نتيجة لجهلنا ، أو لما نقوم به من توسيط (اخذ المتوسطات) لعدد هائل من الحوادث الخفية عنا . فقذف العملة أو رمى النرد او حركة عجلة الروليت ، تظهر الينا على أنها عمليات منضبطة ، فقط لو أتيح لنا ان نرى على مستوى الجزيئات . ان الانضباط الصارم للآلة الكونية يضمن خضوع كل حادثة مهما بدت عشوائية للقوانين .

وفى القرن العشرين حدث تطوران هزا من الثقة فى هذه الصورة الآلية ، أولا كانت ميكانيكا الكم ، وفى صميم قلبها يكمن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج ، والذى ينص على أن أى شىء نريد قياسه يخضع بالفعل لتغيرات عشوائية . ولسوف يقال المزيد عن ذلك فى الفصل السابع ، المهم هنا أن هذه التغيرات ليست نتيجة القصور البشرى أو مستويات أخفى للآلة الكونية ، انها عشوائية كامنة فى أسلوب عمل الطبيعة على المستوى الذرى . فمثلا ، الوقت المحدد لتحلل نواة معينة فى مادة مشعة أمر بطبيعته غير قابل للتحديد . وهكذا الحق بالطبيعة عنصر اصيل من عدم القدرة على التنبؤ .

وعلى الرغم من هذه اللاقطعية ، فان ميكانيكا الكم تظل نظرية منضبطة بمفهوم معين ، فاذا كانت العملية الكمية الواحدة غير قاطعة النتائج ، فان الاحتمال النسبى لنتائج مجموع العمليات يجرى على نمط منضبط . وبمعنى آخر ، فانه اذا كنا غير قادرين على التنبؤ بنتيجة رمى « النرد الكمى » فى عملية ما ، فاننا نعلم بدقة بالغة كيف تتغير المضاربة من لحظة لأخرى . فميكانيكا الكم ، كنظرية « احصائية » ، هى نظرية محددة . وعلى هذا الأساس يعمل الحاسب الآلى بما صمم عليه ، على الرغم من استحالة توقع تصرف كل الكترون فى نظامه . فالفيزياء تجعل من الصدفة عنصرا أصيلا من عناصر الحقيقة ، مع الابقاء على أثر للنظرة النيوتونية ـ اللابلاسية .

ثم جاءت الهيولية لتلعب دورها . والافكار الاساسية لمعالجة الهيولية كانت موجودة بالفعل فى أعمال الرياضى الفرنسى هنرى بوانكريه Henri Poincaré فى القرن الماضى، ولكن نظرية متكاملة لها لم تظهر الا فى الآونة الأخيرة ، خاصة فى العمليات المرتبطة بالحاسب الآلى .

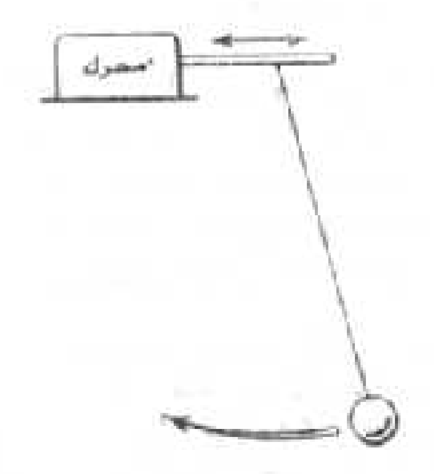
والخاصية الجوهرية للعمليات الهيولية بتطور « الخطأ المتنبأ به Predictive error » مع الزمن . ولبيان ذلك ، لنبدأ بمثال غير عشوائى ، حركة البندول البسيط . تصور بندولين يتارجحان فى تزامن ، ثم افترض أن احدهما قد تعرض لقوة اخرجته عن هذا التزامن بدرجة بسيطة . هذا الفرق فى التزامن سيظل بسيطا مع مرور الزمن .

ولاجراء عملية التوقع لحركة البندول ، نقيس موضعه وسرعته فى لحظة معينة ، ثم نجرى حساباتنا طبقا لقوانين نيوتن للحركة . ولو وجد خطأ فى قياس الظروف المبدئية ، فان هذا الخطأ سيظهر اثره فى الحسابات التالية ، مؤثرا على النتائج المتنبأ بها ، والفرق بين تارجح البندولين المشار اليهما هو بيان لمثل هذا الخطأ وهو يمارس تأثيره .

وفى النظم غير الهيولية nonchaotic systems النمطية ، تتراكم الأخطاء مع الزمن ، ولكن الأمر الحاسم هو أنها تتزايد بصورة متناسبة تقريبية مع سريان الزمن ، وعلى ذلك فهى تحت السيطرة نسبيا .

والآن نصور سلوك نظام هيولى . ففى نظام كهذا ، يتضاعف أى الخطأ الـذى تضاعفا سريعا -والواقع ، ان العلاقة المميزة للنظم الهيولية هى أن الخطأ فيها يتضاعف بصورة « أسية exponentially » . فبدلا من أن يكون الخطأ فى لحظة مساويا تقريبا لقيمته فى اللحظة السابقة ، قد تكون قيمته فى لحظة مساوية لتراكم كافة الاخطاء فى اللحظات السابقة منذ بدء العملية ، وبعد فترة وجيزة ، يصبح الخطأ هو المسيطر تماما على العملية ، وتضيع بالتالى اية قدرة تنبئية . وعلى ذلك فان خطأ صغيرا فى البداية سرعان ما يتضخم الى درجة تعصف بالنظام .

ويبدو التمييز بين النظامين واضحا فى تصور سلوك بندول كروى ، وهو البندول الحر الحركة فى اى اتجاه . وفى الحياة العملية يمكن أن يأخذ صورة كرة معلقة بخيط ، كما هو مبين فى الشكل (١) . فاذا ما عرضت نقطة التعليق لحركة اهتزازية منتظمة فى الاتجاه الأفقى ،



الشكل (١) ، يمكن لبندول كروى بسيط أن يظهر خواص هيولية ، فحين تتذبذب نهاية الخيط ، ستتأرجح الكرة ، ويمكن أن تستقر على ذبذبة معينة ، ولكن فى غيرها تكون الحركة عشوائية بقدر كبير .

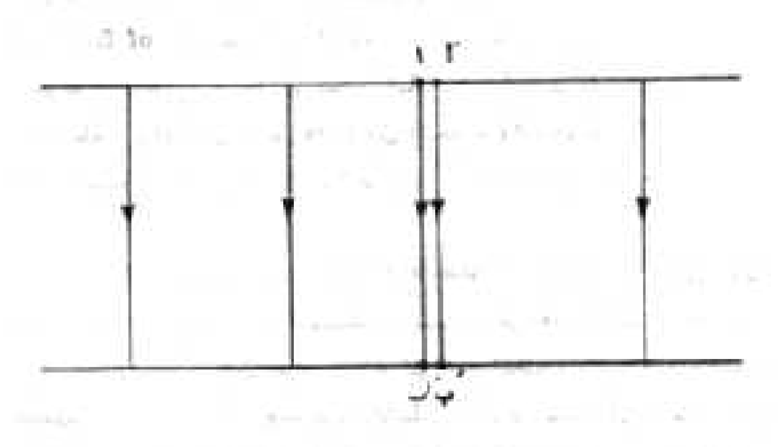
فان الكرة تبدأ فى التأرجح . وبعد فترة قد تستقر فى حركة منتظمة ترسم فيها الكرة مسارا شبه اهليلجى ذا دورة تساوى تردد القوة المحركة . ولكن اذا ما تغيرت القوة المحركة تغيرا طفيفا ، فان هذه الحركة المنتظمة تتحول الى حركة هيولية ، تدور بها الكرة فى اتجاه مرة ، وفى الاتجاه المضاد مرة أخرى ، وهكذا بلا ضابط معين .

وعدم الانضباط هنا ليس صورة من العشوائية التى صادفناها فى حالة الحركة البراونية ، فهو ليس نابعا من آلاف التفاعلات على المستوى الجزيئى ، أو ما يسميه الفيزيقيون « درجات الحرية » degrees of freedom . فالنظام المعروض يمكن وصفه رياضيا بثلاث درجات الحرية ، بمعنى أنه نظام محدد تماما ، ولكن حركة البندول هى غير المنضبطة . وقد كان يربط دائما بين التحديد والقدرة على التنبؤ . ويثبت مثال البندول هذا أن هذا الترابط ليس صحيحا على اطلاقه .

فالنظام قطعى التحديد deterministic system هو الذى يحدد مستقبله بناء على قانون منضبط ، بمعرفة ظروفه الابتدائية . أسقط كرة ما ، وسوف تكون سرعتها عند المواضع المختلفة وفى الأزمنة المختلفة محددة تماما بموضعها وسرعتها الابتدائية عند لحظة الاسقاط . وعلى ذلك فلدينا علاقة « واحد الى واحد » بين الحالات الأولية والنهائية . وبلغة الحواسب ، يفترض ذلك أن لدينا علاقة « واحد الى واحد » بين « المدخلات inputs » و « المخرجات outputs » عند حساب التنبؤ . ولكن لا يجب أن ننسى أن الحوسبة التنبئية تتضمن دائما شيئا من أخطاء أولية فى المدخلات ، ذلك لأنه ليس بامكاننا قياس القيم الفيزيقية بدقة لانهائية .

ويمكن التمييز بين النظم الهيولية وغير الهيولية من خلال المقارنة بين شكلين هندسيين ، كما هو مبين فى الشكل (٢) . فالنقاط فى الخط الأفقى الأعلى تمثل الأوضاع الابتدائية لنظام غير هيولى (مثلا : وضع كرة على وشك الاسقاط) . والتحديد يعنى أن هناك علاقة واحد الى واحد

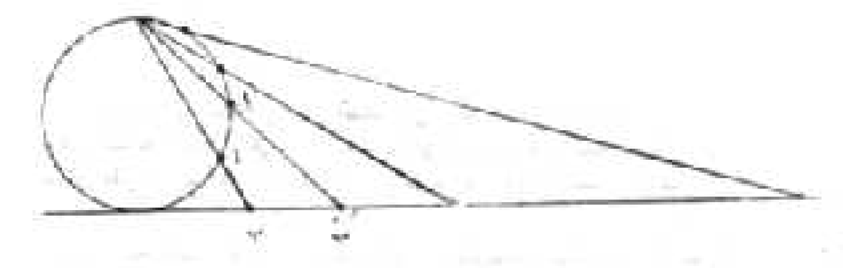
بين نقاط الخط الأعلى والأسفل ، ممثلة بالخطوط الرأسية . فلكل حالة نهائية (كل نقطة على الخط السفلي) نصل اليها من حالة ابتدائية واحدة (نقطة وحيدة على الخط العلوي) . فاذا كنا جاهلين بدرجة بسيطة بالحالة الابتدائية ، فان ذلك سيترجم الى جهل بسيط في الحالة النهائية ، ويمثل هذا على الشكل بنقطة قريبة جدا من الأخرى على الخط العلوي (الفرق بين نقطتين ا و اَ) ، تقابلها نقطة قريبة جدا من الأخرى على الخط السفلي (الفرق بين النقطتين ، ب ، بَ) ، وبمعنى آخر ، فان الأخطا البسيط في الظروف الابتدائية يترتب عليه خطأ بسيط في النتيجة .



الشكل (٢) : يمكن تصوير الحتمية عن طريق هذا المثال الهندسي البسيط ، كل نقطة على الخط الأعلى مرتبطة بنقطة واحدة فقط على الخط الأسفل . وينتج عن خطأ بسيط في تحديد النقطة العلوية خطأ بسيط بنفس القدر في تحديد النقطة السفلية . فاذا عبرت النقاط في الخط العلوي عن الحالات الابتدائية ، والسفلي عن الحالات النهائية ، فان مثل هذا يمثل القدرة على التنبؤ .

أما النظم الهيولية ، فيمثلها الشكل (٣) . هنا تمثل الظروف الابتدائية بنقاط على محيط دائرة ، والنتائج النهائية على الخط الأفقي . هنا أيضا لدينا علاقة واحد الى واحد بين مجموعتي النقاط ، فمن معرفة نقطة ما يمكن معرفة النقطة المقابلة في المجموعة الأخرى . ولكن خطوط الربط هنا تأخذ شكلا مروحيا ، بحيث انه كلما اقتربنا من قمة المنحنى ، كان التباعد بين النقاط على الخط الأفقي أكبر . وعلى ذلك فأى تغيير

ضئيل في نقاط المجموعة الأولى سيترتب عليه تغيير جسيم في المجموعة الثانية . وعلى ذلك فان جهلا بسيطا في الظروف الابتدائية تترتب عليه درجة كبيرة من الشك في تحديد الظروف النهائية . هذا الوضع يمثل الهيولية ، حيث يكون النظام حساسا بدرجة فائقة للظروف الابتدائية .



الشكل (٣) : يمثل هذا الشكل وضعا متناقضا مع ما صور في الشكل (٢) ، حيث يترتب على خطأ بسيط في تحديد نقطة على محيط الدائرة خطأ جسيم في تحديد النقطة المقابلة على الخط الأفقي ، وتزداد هذه الحساسية للخطأ كلما اقتربنا من قمة الدائرة ، رغم وضوح العلاقة نظريا ، فان التنبؤ صعب ، وهو ما يمثل النظم الهيولية .

هذه الحساسية ليست مجرد نتيجة القصور البشرى من حيث دقة القياس ، أو دقة رسم الخطوط ، فالمفهوم الرياضي للخط هو ضرب من التصوير الخيالي ، يقرب الواقع . لعدم اليقين هو الحق ، والخط الهندسي هو الخيال . ولنا أن نرى هذا واضحا من تعريف الخط هندسيا لدى قدماء الاغريق .

فهم قد أدركوا أنه بامكاننا أن نضع أرقاما على الخط تمثل بعد كل نقطة عن نهايته ، كما هو مبين في الشكل (٤) بالنسبة لجزء الخط من نقطة الصفر والنقطة رقم واحد . وتعطى النقاط بينهما أعدادا كسرية مكونة من رقم صحيح في البسط وآخر مثله في المقام ، وقد أطلق الاغريق على هذه الأرقام « rational » منطقية ، وهي الكسور المنتهية) من الجذر « ratio » . ضع أى عدد في البسط وآخر في المقام فيمكنك الوصول للنقطة المقابلة له . ومع ذلك ، فالرياضيون يمكنهم الاثبات بسهولة أنه ليست كافة النقاط على جزء متصل من الخط يمكن أن تعطى كسورا منتهية ، فبين كل نقطتين ممثلتين بهذا الشكل ، بامكانك أن تجد نقاطا

متوسطة ، لا يمكن التعبير عنها بكسر منته ، بل يعبر عنها بكسر عشري ذي عدد غير منته من الارقام ، ومثل هذه النقاط يمكنك ان تكون قريبا منها بدرجات متفاوتة من الدقة ، ولكن لا يمكن تحديدها بالضبط ·

صفر ٩٣٧/٥٠٤ ١/٢ ١/٣ ٢/٣ ١

الشكل (٤) : يمكن ان نمثل النقاط على الخط ارقاما بين الصفر والواحد الصحيح ، وعدد النقاط لا نهائي على هذا الخط ، ولكن تحديد موضع نقطة تحديدا قاطعا امر غير ممكن عمليا ، حيث يتطلب الامر عددا لا نهائيا من الاعداد الكسرية للتعبير عن الوضع ·

ومجموعة الكسور المنتهية وغير المنتهية يطلق عليها معا مجموعة الاعداد الحقيقية ، ومنها بالطبع ما يمكن التعبير عنه بصورة موجزة ، مثل ٥ر٠ او ١/٣ ، ولكن الرقم الحقيقي في صورته النمطية لا يمكن التعبير عنه الا بعدد لانهائي من الارقام ككسور عشرية لا تحمل تتابعا ذا نظام معين ، بل هو تتابع عشوائي random · ومعنى ذلك ان التعبير عن عدد واحد من هذه الاعداد يتطلب قدرا لانهائيا من المعلومات ، وهو امر مستحيل حتى من ناحية المبدأ · وعلى ذلك فاقوى حاسوب متصور ، لا يمكنه تذكر عدد حقيقي واحد بالدقة اللانهائية ، وعلى ذلك ، فان التعبير عن الخط المتصل كمتصل من الاعداد الحقيقية يظل خيالا رياضيا محضا ·

ما اثر ذلك على العمليات الهيولية ؟ ان التحديد المطلق يعني ضمنا ان التنبؤ يجري في ظروف مثالية من الدقة اللانهائية ، ففي حالة البندول ، يتطلب تحديد حركته معرفة الوضع الابتدائي له ، وذلك بقياس بعده من نقطة مرجعية معينة ، ويتطلب ذلك التعبير عن المسافة المقيسة بعدد حقيقي ، وهو ما يستحيل عمله بدقة لانهائية كما بينا ·

وفي النظم غير الهيولية ليس هذا القصور بذي اهمية بالغة ، حيث ان الاخطاء تتراكم خطيا · اما في النظم الهيولية ، فالامر اخطر من ذلك · نفترض ان درجة الدقة كانت خطأ في الرقم العشري الخامس ، ونحن

نقدر حركته في فترة زمنية « ت » · لو زدنا درجة الدقة الى الرقم العشري العاشر حتى نرفع من درجة اليقين في الفترة المذكورة ، فان التزايد الأسي قد يعيدنا الى نفس درجة الخطأ في فترة زمنية « ٢ ت » مثلا ، ومعنى ذلك أننا زدنا في الدقة بمقدار ١٠٠٠٠٠ مرة لنتزيد من اليقين لفترة لا تزيد عن الضعف ·

ان هذه الحساسية للظروف الاولية هي التي ادت الى المقولة المشهورة ، بان رفرفة فراشة لأجنحتها في ملبورن اليوم تؤثر على الطقس في لندن بعد اسبوع، فحيث ان الطقس في الكرة الأرضية نظام هيولي ، وانه لا يوجد نظام من ناحية المبدأ يمكن وصفه بدقة كاملة ، فان التنبؤ بالطقس على المدى البعيد لا يمكن تحقيقه ، مثله في ذلك مثل اي نظام هيولي آخر · ولا نفتأ نؤكد انه لا علاقة في ذلك بالقصور البشري ، فالكون ذاته لا يعلم ما يفعله بدقة مطلقة ، ومن ثم لا يمكن التنبؤ بما سيحدث مستقبلا بتفاصيل كاملة ، فهناك اشياء تجري بالفعل بصورة عشوائية ·

ومن الواضح أن الهيولية تعطينا برزخا بين قوانين الفيزياء وقوانين الصدفة · فمن وجهة نظر معينة يمكن ارجاع الصدفة او العشوائية للنقص في التفاصيل · لكن بينما تبدو الحركة البراونية عشوائية بسبب العدد الهول من درجات الحرية التي تضطرنا للتجاوز عنها ، فان الهيولية التحديدية تبدو عشوائية بسبب كوننا بالضرورة غافلين عن التفاصيل الغاية في الدقة لدرجات من الحرية قليلة العدد · وعلى هذا يكون الكون ذاته · وبينما الحركة البراونية معقدة لأن التصادم مع الجزيئات هو في حد ذاته عملية معقدة ، فان حركة البندول معقدة حتى وان كان النظام ذاته بسيطا للغاية · وعلى ذلك فالسلوك المعقد لا يعني بالضرورة تعقد القوانين الحاكمة أو القوى المؤثرة · فدراسات الهيولية اوجدت توافقا بين تعقد العالم الفيزيائي حين يظهر تصرفات شاذة وعشوائية ، وبين النظام والبساطة التي تتميز بها قوانين الطبيعة ·

ورغم أن الهيولية التحديدية هي مفاجأة لنا ، فانه يجب الا ننسى ان الطبيعة ليست فى الواقع تحديدية بأى شكل من الأشكال . فعدم اليقين المصاحب للتأثيرات الكمية يتدخل فى ديناميكية كافة النظم ، هيولية أو غير هيولية ، على المستوى الذرى . وقد يفترض أن عدم اليقين سوف يترابط مع الهيولية ليضاعف من عدم القدرة على التنبؤ الكونى . ولكن الأمر المستغرب هو ان التأثيرات الكمية يبدو أن لها تأثيرا مخففا من الهيولية . فبعض النظم التى تبدو هيولية عند مستوى النيوتونية الكلاسيكية ، قد وجد أنها أصبحت غير هيولية حينما أعطيت خواص كمية .وعند هذه النقطة ينقسم الخبراء حول امكانية وجود نظم هيولية كمية ، وماهية علاماتها ان كان لها وجود . ورغم اهمية الموضوع بالنسبة للفيزياء الذرية والجزيئية ، فانه قليل الأثر على المستوى المرئى ، ناهيك عن الكون بأسره .

ما الذى نستخلصه من الصورة النيوتونية ـ اللابلاسية للكون كساعة منضبطة ؟ ان العالم الفيزيقى يحتوى على العديد من النظم الهيولية وغير الهيولية . فالطقس بطبيعته ، كما قدمنا ، لا يمكن التنبؤ به الى اقل التفاصيل ، ولكن تتابع الفصول منضبط كالساعة بالفعل . فتلك النظم التى تتصف بالهيولية غير خاضعة للتنبؤ بصورة كبيرة ، وان نظاما واحدا منها ليستهلك قدرة الكون كله فى حساب مسلكه . والبادى اذن ان الكون غير قادر على حساب المستقبل لجزء ضئيل منه ، فما بالك به بأكمله ؟

وما من شك فى أن هناك استخلاصا رائعا ـ ان هذا يعنى أنه حتى لو تقبلنا وصف الكون على انه محدد تحديدا قاطعا ، فان مستقبله من وجهة نظر معينة يكون « منفتحا » . ولقد اعتمد البعض على هذه الانفتاحية ليؤكد الحرية الشخصية للانسان ، ويدعى البعض الآخر بأنها تسبغ على الطبيعة عنصرا من الابداع ، من المقدرة على توليد ما هو مستحدث بمعنى الكلمة ، شئ لم يكن متضمنا فى الحالات السابقة للكون . ومهما كانت قيمة هذا الادعاء ، فانه من الأحوط ان نستخلص من دراسة الهيولية أن

مستقبل الكون ليس محددا تحديدا قاطعا . وباستخدام عبارة بريجوجين، ان الفصل الأخير للكون المعظم لم يحن موعد كتابته بعد .

استيعاب التعقيد

ان النجاح المذهل لبساطة المبادئ والقواعد الرياضية فى تفسيرها لأجزاء كبيرة من الطبيعة هو شئ غير ملموس فى المعايشة اليومية ، كما لم يكن واضحا لأجدادنا ان العالم يسير على مثل هذه الخطوط البسيطة . ففى النظرة العابرة تبدو الطبيعة معقدة وغير مفهومة بالمرة . فالقليل من الظواهر الطبيعية هى التى تنم صراحة عن دقة بالغة تشير الى النظام المستتر . وحتى يبدو اطراد او تناغم ، فانه يكون عادة على صورة من التقريب . ويؤكد الواقع انه لقرون عدة فشل قدماء الاغريق ومفكرو القرون الوسطى فى التعرف الا على النزر اليسير (كتتابع الليل والنهار مثلا) من النظام الرياضى فى الطبيعة .

ويمكن توضيح الموقف بضرب مثال السقوط الحر للأجسام . فقد لاحظ جاليليو ان كل الأجسام تتسارع بنفس المعدل تحت تأثير جاذبية الأرض . ولم يكن احد قد أدرك ذلك من قبل ، لأنه فى الحياة اليومية لا يبدو ذلك صحيحا ، فكلنا يعرف بداهة أن المطرقة تهبط أسرع من ريشة طير . وقد بدت عبقرية جاليليو فى ملاحظة أن الفرق هو أمر عارض ، (فى حالتنا هذه بسبب مقاومة الهواء) ، ودخيل على العامل الأساسى (الجاذبية الأرضية) . وبذلك استطاع أن يستخلص من التعقيد البادى فى الحياة اليومية بساطة قانون مثالى للجاذبية .

وتتخذ أعمال جاليليو ونيوتن فى القرن السابع عشر عادة كمؤشر لبداية العلم الحديث . فنجاح العلم يرجع بصورة أساسية الى قوة التحليل الذى أجراه جاليليو ، القدرة على عزل النظام الفيزيقى عن الكون المحيط ، والتركيز على الظاهرة محل البحث . وفى مثال السقوط الحر قد يتطلب العزل مثلا اجراء التجربة فى الفراغ . ولم يكن لأحد أتيح له مشاهدة مثل هذه التجربة الا أن يدهش حتى تقلت سفينة الفضاء،

« أبوللو » المطرقة والريشة بالفعل واسقطتهما على سطح القمر الخالي من الهواء .

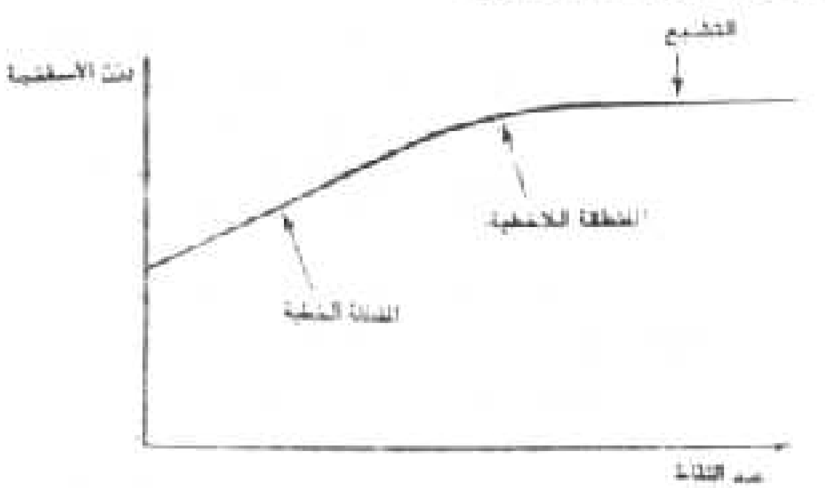
ولكن نجاح مثل هذا التحليل هو أمر في حد ذاته محير ، فالعالم أولا وأخيرا هو كل متكامل ، فكيف يمكن فهم جزء منه دون فهم البقية ؟ نعم ، كيف يمكن لنا فهم الكثير ، دون فهم الكل ؟

لو أن الكون كان من قبيل « الكل أو لا شيء » ، لما كان هناك علم ولا فهم . فليس بامكاننا أن نستوعب كافة قوانين الطبيعة في قضمة واحدة . ومع ذلك ، وعلى الرغم من الاعتقاد الشائع بين العلماء هذه الأيام أن كل القوانين سوف تتكامل في كل واحد ، فاننا قادرون على التقدم خطوة تلو الأخرى ، واضعين أشلاء الصورة قطعة بعد قطعة ، دون أن نحتاج الى العلم مسبقا ، بشكلها النهائي . ولقد حدث ذلك خلال القرون الثلاثة والنصف الماضية من الكفاح العلمي ، وهو يحدث على المستوى الشخصي الآن ، مع كل من يعد ليكون عالما ، فيقضي خمس عشرة سنة من الدراسة . فلكي تكون عالما ، ليس عليك أن تتجرع كل العلم الحديث دفعة واحدة .

واحد أسباب نجاح أسلوب الخطوة خطوة هو أن العديد من النظم الفيزيائية هي نظم خطية ، والنظم الخطية ببساطة هي النظم التي فيها الكل يساوي مجموع الأجزاء (لا أكثر ولا أقل) . والتأثير الكلي هو حاصل مجموع التأثيرات الجزئية .

والتمييز بين النظم الخطية وغير الخطية يمكن تمثيله بمثال اسفنجة جافة تمتص الماء ، فمع كل قطرة تمتصها يزداد وزنها . هذه الزيادة تكون في البداية طردية العلاقة ، اذا زاد عدد القطرات للضعف كانت الزيادة المقابلة للوزن هي الضعف . وهذه هي العلاقة الخطية . ولكن مع زيادة رطوبة الاسفنجة تبدأ في التشبع بالماء ، وتقل مقدرتها على الامتصاص ، وتكون زيادة الوزن مع القطرات غير خطية ، أي تقل في معدلها مع نفس الزيادة في كمية الماء المتساقط عليها . وفي النهاية يثبت الوزن عند التشبع الكامل ، ويصبح غير معتمد على قطرات الماء ، لأن الماء

المتساقط سوف يقابله مقدار مساو تقريبا من الماء المتسرب من الاسفنجة . ويمثل الشكل (٥) هذه العلاقة .



الشكل (٥) : بالنسبة لاسفنجة جافة ، يتزايد وزنها طرديا مع الماء المتساقط عليها ، ويسير المنحنى المعبر عن العلاقة بين الوزن وعدد نقاط الماء في خط مستقيم صاعد . وعندما تبدأ الاسفنجة في التشبع بالماء ، تقل قابليتها للامتصاص ، فلا يزيد الوزن كثيرا مع عدد نقاط الماء . وعند التشبع الكامل يثبت وزن الاسفنجة مهما تساقط الماء عليها ويأخذ الخط المعبر عن العلاقة وضعا افقيا .

والنظم الخطية المعقدة ، كموجات الراديو حين تختلط بالموجات الصوتية (٦) ، يمكن فصل مكوناتها (في هذه الحالة الموجات المختلفة) بحيث تعاد من أصلها دون أي تشويه . فالشكل المعقد للموجة ما هو الا مجموعة من الموجات البسيطة المختلطة . وان مدلول عملية التحليل ذاتها يعتمد على الخاصية الخطية ، ففهم الأجزاء المنفصلة يؤدي الى فهم المجموع . هذه القدرة على تحليل النظم الخطية دون افسادها ينعكس على الرياضيات التي تصف النظام . فالتحليل الرياضي الخطي يمكن تتبعه بسهولة،لأن التعبير الرياضي المعقد يمكن أن يحلل الى مجموعة من التعابير البسيطة .

ولقد أدى نجاح التحليل الخطى فى القرون السابقة الى اخفاء حقيقة أن النظم الواقعية تميل الى اللاخطية عند مستوى معين . وحين تكون اللاخطية مهمة ، لن ينجح التحليل ، لأن الكل سيكون أكبر من مجموع الأجزاء . والنظم الخطية يمكن أن تضم العديد من التصرفات المعقدة ، وأن تقوم بما هو غير متوقع ، كأن تتحول مثلا الى الهيولية . فبدون اللاخطية لن يكون هناك هيولية ، حيث لن يكون هناك أى حيود عن نماذج السلوك المفترضة ، وهو ما يعتمد عليه عدم اليقين فى الطبيعة .

وبصورة عامة ، يجب فهم النظام اللاخطى الى نهايته ، وهو ما يعنى عمليا الأخذ فى الاعتبار العديد من المحددات والشروط المحيطية والأوضاع الابتدائية . كل ذلك يؤخذ فى الاعتبار فى النظم الخطية أيضا ، ولكن بصفة عرضية . أما فى النظم غير الخطية فهى أساسية بصورة جذرية لفهم ما يجرى .

ولقد رأينا مثالا لذلك فى القسم السابق . فالعامل المحدد لكون حركة البندول هيولية أم لا متعلق بتردد القوة الخارجية وعلاقته بطول البندول . فالنظام ككل يجب أن يؤخذ فى الحسبان قبل التنبؤ بهذه الهيولية . وهناك العديد من الأمثلة على ما يسمى « الطبيعة الكلية holistic character » للنظم غير الخطية . ومن ذلك ظاهرة التنظيم الذاتى ، مثل المخلوطات الكيميائية التى تتخذ أشكالا أو تنبض بالوان فى شكل تعاونى . وما نريد أن نؤكد عليه هو أن فهم الفيزياء المحلية (كالقوى بين الجزيئات) قد يكون ضروريا لفهم ما يحدث ، ولكنه بالتأكيد غير كاف لتفسير الظاهرة تماما .

وتضفى اللاخطية على النظم مكنات لكى تفعل أشياء غير متوقعة ، وأحيانا كما لو كانت بها حياة ، فهى قد تتصرف فى تعاون ، أو تتكيف ذاتيا مع البيئة ، أو ببساطة تعيد تنظيم نفسها فى كينونات متآزرة ذات هويات محددة . لقد أصبح البون شاسعا بيننا وبين المادة التى وصفها نيوتن بالخمول . وكتصوير لذلك نأخذ مثالا هو من أهم الأمثلة على تحرر المادة ، ألا وهو الموجات غير الخطية .

موجات ذات ارادة حرة (٢)

فى عام ١٨٣٤ كان مهندس يدعى جون سكوت راسل John Scott Russell ، ممتطيا جواده بالقرب من أدنبره حينما مر بقارب يجره حصانان فى نهر ضحل . وتوقف القارب فجأة ، محدثا اضطرابا شديدا فى الماء . وكم كانت دهشة راسل حين وجد كمية من الماء ترتفع ثم ـ كما كتب عن الظاهرة التى أدهشته : « تتدحرج بسرعة بالغة على سطح الماء ، على شكل كومة تامة الاستدارة ، منطلقة دون تغيير فى شكلها أو سرعتها » . وانطلق راسل متتبعا هذه الظاهرة المائية العجيبة لمسافة ميلين ، الى أن فقدها فى تعرجات النهر .

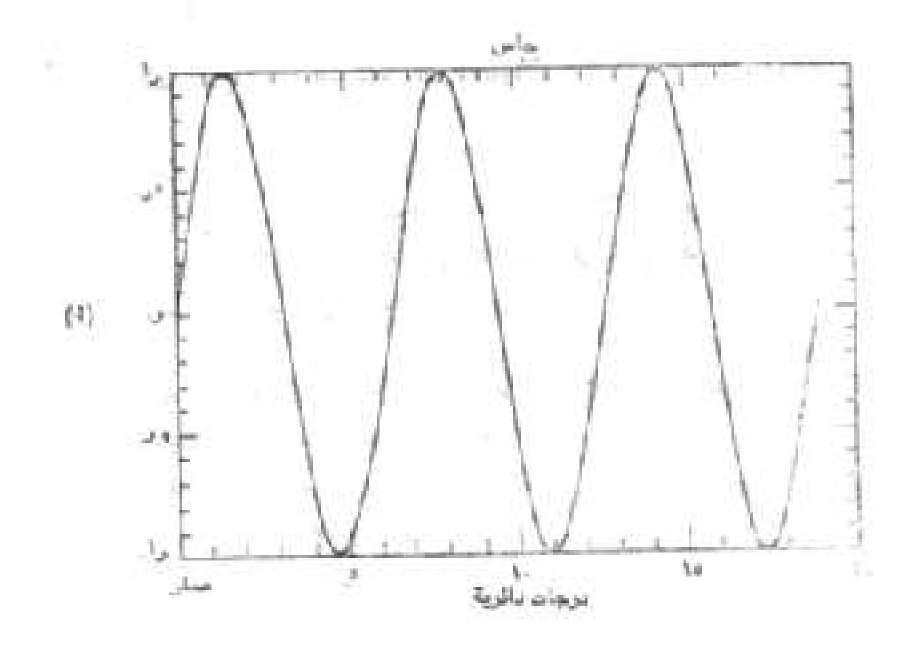
كلنا نعرف الموجات فى الماء ، ولكن ما شاهده راسل كان شيئا غير عادى تماما . فاذا ما أسقطنا حجرا فى بحيرة فان المويجات تنتشر على سطحها حتى تتلاشى تدريجيا . وعلى خلاف هذه المويجات التى هى تتابع من قمم وقيعان ، شاهد راسل « كومة » من الماء ، ذات قمة وحيدة ، تنطلق على سطح الماء محتفظة بكيانها . مثل هذه الموجة « الوحيدة » هى بلا جدال حادثة فريدة . وقد عاد راسل للموضع لدراسة الظاهرة ، وكتب عنها تقريرا الى الجمعية الملكية بأدنبرة .

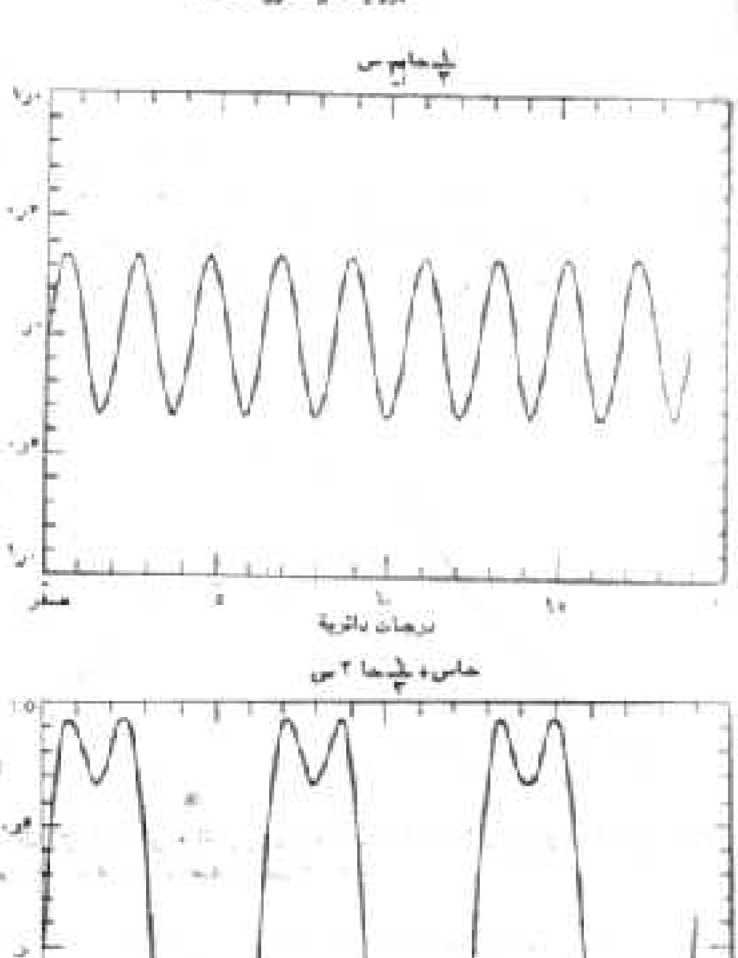
ولكن تفسيرا مقنعا لهذه الموجات الوحيدة لم يظهر الا عام ١٨٩٥ عن يد عالمين دانيماركيين هما كورتفيج D. J. Korteweg ، وهندريك دى فريز Hendrik de Vries . ونجد نظريتهم تطبيقات فى أفرع عديدة من العلم، من الجسيمات الأولية الى البيولوجيا .

ولفهم النظرية ، من الضرورى أن نعرف شيئا عن الموجات العادية . فالاضطرابات المعتادة التى تحدث مثلا من القاء حجر فى بحيرة ساكنة ، هى سلسلة من التموجات مكونة فى الواقع من عدة موجات متراكبة ، ومختلفة فى السعة (أقصى ارتفاع تصل اليه قمة الموجة) وطول الموجة (المسافة بين قمتين متتاليتين) . ومن هذا الخليط من المويجات يتكون الشكل النهائى للاضطراب .

ومع انتشار الموجات ، ولكون الموجات ذات الأطوال الأكبر تنتشر أسرع من قصيرة الأطوال ، فإن الاضطراب الكلي سرعان ما يذوي ، وهو ما يطلق عليه « التشتت dispersion » .

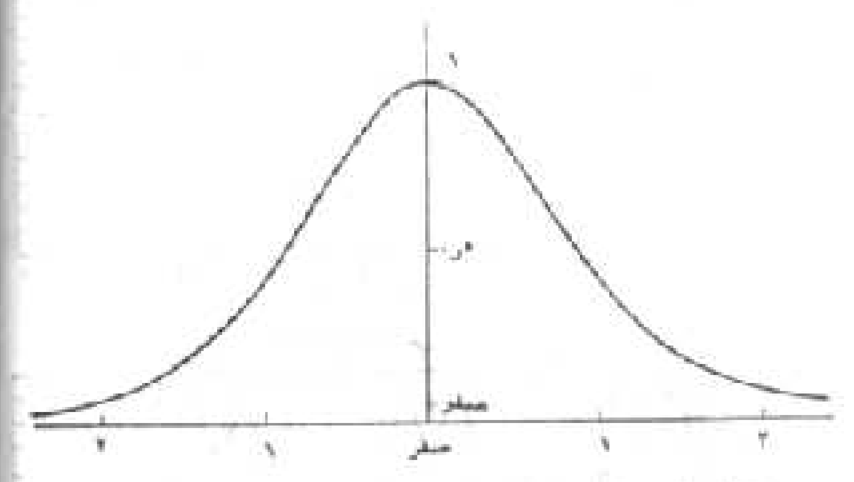
وحتى يمكن لموجة منفردة أن تتكون ، لابد من عامل يؤثر ضد التشتت ، هذا العامل الجديد هو مثال للاخطية - فالتموجات المعتادة هي مثال للموجات الخطية ، طبقا للطريقة التي تتراكب بها ، والتي تجمع سعاتها جمعا عاديا . (الأشكال ٤ ، ٥ ، ٦) . ولتحقيق ذلك يجب أن تكون سرعة الانتشار ، وهي التي تعتمد بطبيعتها على طول الموجة ، غير معتمدة على السعة . ولقد بين بحث العالمي أن الموجات تكون خطية في حالة كون سعة الموجات قليلة بالنسبة لعمق الماء . فإذا كان الماء ضحلا ، فإن السرعة ستعتمد على كل من الطول والسعة في نفس الوقت .





الشكل (٦) : الموجات الخطية يمكن أن تتراكب بإضافة السعات معا عند كل نقطة . فالموجة (أ) تتراكب مع الموجة (ب) لتنتجا الموجة (ج) . أما الموجات غير الخطية فتراكبها يتم بصورة أكثر تعقيدا .

ويمكن في حالات الموجات الضحلة اللاخطية ان تتحقق حالة فريدة، تتراكب فيها الموجات ذوات السعات والأطوال المختلفة بالصورة اللازمة بالضبط لجعل تأثير غير خطية يعادل بالضبط تأثير التشتت . وتنتج الموجة المنفردة التي شاهدها راسل بالفعل (الشكل ٧) . في هذه الحالة ستكون كافة الموجات المكونة للموجة الكلية منتشرة بنفس السرعة ، اما الموجات التي لا تفي بهذا الشرط فانها سرعان ما تتشتت .



الشكل (٧) : منحنى « السوليتون » ، حل معادلة كورتفيج ودى فريز ، وهي الموجة وحيدة القمة التي شاهدها راسل .

ووضع كورتفيج ودى فريز معادلة لوصف مثل هذه الموجات الفريدة، وبينت المعادلة أن سرعة انتشارها تزداد بزيادة ارتفاع قممها . ولم يكن لانجازهما هذا من قيمة سوى تفسير الظاهرة التي شاهدها راسل . ولم يطرق الموضوع بعد ذلك لسبعين عاما . ليس فقط لعدم اهمية الموضوع من الناحية العملية ، بل ايضا لصعوبة التعامل مع رياضيات اللاخطية .

الا أن التقدم في الحاسبات غير من المواقف ، حيث أمكن بمعونتها اجراء الدراسات على الظواهر اللاخطية ، فصمم في الستينات نموذج حاسوبي لتمثيل الموجات المنفردة واستكمال دراستها . وفي عام ١٩٦٥ قام مارتين كرسكال Martin Kruskal بدراسة تأثير تصادم موجتين منفردتين

مختلفتي القمم . وكان من المتوقع بالبديهة أن تدمر كل موجة الأخرى ، حيث أن تكون اى منهما يعتمد على توازن حرج كما اسلفنا . ولكن النتيجة كانت مفاجئة ، فقد خرجت كل موجة من التصادم سليمة لم تتأثر ، وواصلت انطلاقها بنفس سرعتها ، ويبدا الامر كما لو كانت كل موجة ذات كيان مستقل ، يمكنها به أن تتحدى الصعاب . واطلق كرسكال على مثل هذه الموجات اسم « سوليتون » « soliton » ، وهي تسمية متأثرة بأسماء الجسيمات الأولية ، كالالكترون والنيوترون ، والتي أيضا تمثل موجات ذات كيانات مستقلة .

وكان هذا الانجاز بمثابة شرارة انطلاق في دراسات ظاهرة الموجات المنفردة ، فسرعان ما تكشف أنها تمثل نظاما فيزيقيا اوسع من مجرد موجات في مياه ضحلة ، السمة الجوهرية له هي اللاخطية . فكلما كان النظام قريبا من اللاخطية ، زاد احتمال بعث موجات من الطاقة على هذا الشكل ، أو على الأقل شيء قريب الشبه به . وليس للوسط الذي تتكون فيه الموجات المنفردة علاقة بتكونها ، فقد تتكون في الماء او الغازات او المجال الكهرومغناطيسي . وقد درست الظاهرة في نظم متعددة منها البلورات ، والبلازما (٣) ، والألياف الضوئية ، والالكترونيات .

ومن التطبيقات غير المتوقعة مجال البيولوجيا الجزيئية . فقد كان الجدل حاميا حول كيفية انتقال الطاقة المركزة عبر السلسلات البيولوجية الطويلة مثل البروتينات أو حمض الـ D.N.A. ، حيث تلاحظ حدوث تأثيرات في مناطق بعيدة تماما عن مصادر الطاقة . ويرى البعض أن ذلك لا يمكن أن يحدث من خلال التفاعلات الكيميائية ، ولكن الطاقة تنتقل عن طريق مويجات منفردة داخل الهيكل الجزيئي .

والمجال الآخر للتطبيق هو الدراسات المتقدمة في مجال التوصيل الفائق « superconductivity »، خاصة عند درجات حرارة أكبر من الصفر المطلق (ـ ٢٧٣°) . فقريبا من هذه الدرجة تكون بعض المعادن في حالة التوصيل الكهربي الفائق ، بسبب الطرائق التي يمكن فيها للالكترونات

ان تتزاوج وأن تتحرك فى تنظيم معين فى غيبة « الضوضاء » الحرارية . ولكنه لوحظ ان بعض الخزفيات ، وهى غير موصلة للكهرباء اصلا ، تتحول الى مواد فائقة التوصيل عند درجات أعلى من هذه الدرجة ، الدرجة الى البعض يتوقع امكانية حدوث ذلك عند درجات الحرارة المعتادة . وليس خافياً الأثر الخطير لذلك على تطور التكنولوجيا . ولكن كيف يمكن تفسير هذه الظاهرة ؟

رغم ان الغموض لا يزال محيطا بهذه الظاهرة للتوصيل الفائق ، الا أن النظريات تتوقع أن تلعب ظاهرة الموجات المنفردة دورا أساسيا فى هذا المجال . فقد شوهدت مثل هذه الموجات بالفعل فى بعض الأجهزة الالكترونية مثل مايسمى «وصلة جوزيفسون Josephson junction» (1) ، حيث تفصل مادة عازلة رقيقة بين جانبين من مادة فائقة التوصيل . وفى هذا التشكيل يلاحظ تدفق الطاقة الكهربية فى حزم مستقلة ، على صورة موجات منفردة من طاقة المجال المغناطيسي يطلق عليهما « فلكسونات fluxons » ، تتحرك تحت ما يسمى « تأثير النفق tunnel effect » وهى ظاهرة مرتبطة بالفيزياء الكمية . ويأمل الباحثون أن تكون هذه الموجات هى التى تخزن المعلومات فى الحاسبات الفائقة السرعة فى المستقبل .

كما يتوقعون أن تفسر الموجات المنفردة ظاهرة التوصيل الفائق للمواد الخزفية فى درجات الحرارة العالية . فبالاضافة للفلكسون ، هناك ما يطلق عليه « بولارون polaron » ، وهى موجة منفردة من الشحنة الكهربية . فحينما يتحرك الكترون داخل بلورة ، فانه يشوه قليلا من تكوينها البلورى ، بسبب تفاعل مجاله الكهربى مع الشحنات الكهربية لذرات البلورة . وفى حالات التشوهات البسيطة ، فان النظام يكون خطيا ، بمعنى أن القوى الناشئة عن التفاعل المذكور تكون متناسبة . ولكن هذه التشوهات قد تكون كبيرة فى بعض المواد ، الأمر الذى يجعل حركة الالكترونات ليست فى تناسب بسيط مع ما حولها من قوى ، وتظهر اللاخطية خطيرة الأثر ، فاتحة المجال لتكون الموجات المنفردة

المذكورة ، وهى التى يتوقع أن تكون تفسيرا لظاهرة التوصيل الفائق فى المواد الخزفية .

الل والالتواء

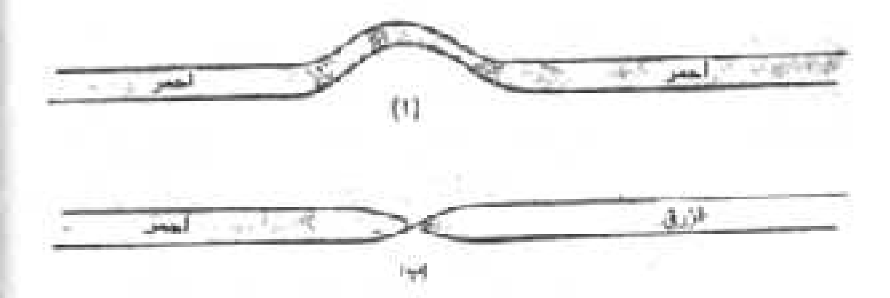
تتميز الموجات المنفردة بمقدرتها على البقاء ، الا انها تختلف فى هذا المضمار . فما تولد منها فى الماء مثلا يمكن تدميره بوسيلة او بأخرى كاحداث اضطراب فى الماء . على أنه يوجد نوع من الموجات المنفردة وجد ليبقى ، فهو لا يقبل التدمير على الاطلاق .

ولفهم التمييز بين النوعين ، تخيل شريطا طويلا من مادة مرنة ، ملونا فى أحد جوانبه باللون الأحمر ، والآخر باللون الأزرق . يمكن توليد طاقة من مثل هذا الشريط ، بما له من مرونة ، وذلك عن طريق مطه لأعلى (الشكل ٨ — أ) ، وتنتقل تلك الطاقة فى شكل موجات عبر الشريط . فاذا ما كانت المرونة غير خطية ، أمكن توليد موجات منفردة تتركز فيها تلك الطاقة . هذه الموجات تكون قابلة للفناء ، حيث ان الشريط مآله العودة لشكله الأصلى .

الا أن توليد طاقة المرونة قد يكون بلى الشريط ، كما هو مبين (بالشكل ٨ — ب) . فى هذه الحالة لن يمكن تدمير الموجة الحاملة للطاقة المركزة ، طالما أن الالتواء موجود . على أن هناك احتمالا أن تقابل هذه الموجة موجة مضادة ، تكونت من التواء فى الاتجاه المضاد (الشكل ٨ — ج) ، وهنا تفنى الموجتان . ويمكن تشبيه الوضع بتلاقى جسيم مع مضاده ، حيث يفنيان ويطلقان ما بهما من طاقة .

ودراسة الالتواء هو فرع من العلوم يسمى « الطبولوجيا topology » وهو علم دراسة الأسطح عامة ، وما يمكن أن يجرى عليها من التواءات أو عقد ، أو وصل بعضها ببعض ، ان لم يكن فى الواقع فعن طريق التمثيل . ومن مبادىء هذا العلم أن التشكيل السطحى لا يتأثر بمجرد المط أو الل ، اذ يظل السطح ، من وجهة نظره ، هو نفسه لم يتغير .

والطريقة الوحيدة لتغيير السطح هي بقصه ولصقه بسطح آخر . وفي حالة شريط لامتناهي الطول (وهو في الواقع شريط تكون الموجات المنفردة في الأشرطة) ، فلن يمكن فك عقده أو التواءاته ، وبالتالي فإن موجة منفردة متولدة فيه ستظل باقية للأبد .



الشكل (٨) : مناطق الطاقة المتركزة للمرونة « سوليتون » يمكن أن تنتج بطريقتين : من شريط مرن ، بالجذب لأعلى ، أو بالثني . وهي في الحالتين تنتشر في الشريط ، ولكنها في الحالة الأولى (أ) قابلة للزوال ، بينما في الحالة الثانية (ب) لا تختفي طاقة التي فالثم ، ما لم تصادفها منطقة في مضادة (الحالة ٦) .

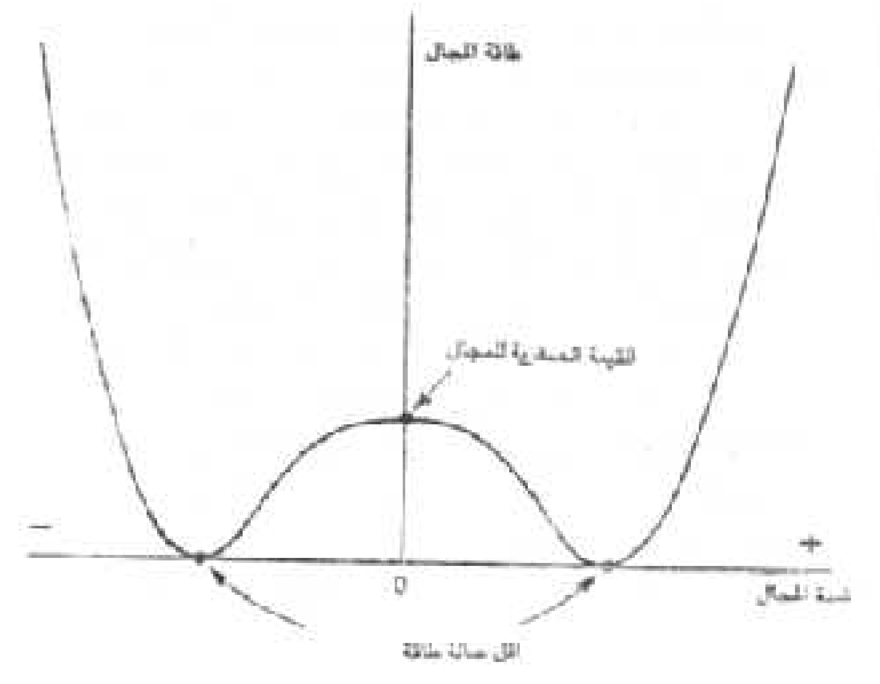
مثل هذه الموجات تظهر في العديد من الأشكال . فالموجات المنفردة المتكونة في البلورات تظل باقية لا تفنى . وكذا المتكونة في حالة التوصيل الفائق . وشيء من هذا القبيل يفسر ظاهرة الأوتار الفائقة . وهي ما سنتناوله في الفصل السادس .

ولعل أكثر مجالات الموجات المنفردة الطوبولوجية هو مجال الجسيمات دون الذرية . هنا تظهر مثل هذه الموجات كاستثارة في المجال، وليس في وسط عادي . فحينما يكون مجال في أدنى مستوى من طاقته، يكون منتظما . وتتولد الاستثارة حينما يخل بهذا الانتظام لسبب أو آخر . وفي حالة المجالات غير الخطية ، فإن حالة الطاقة الأدنى قد لا تكون هي حالة المجال الصفرى ، أو بمعنى آخر ، فإن أقل قيمة لطاقته تحدث في حالة من حالات وجوده ، وليس حينما يكون صفرا . وسبب ذلك هو تأثير

المجال على نفسه ، بما يقلل من طاقته في بعض حالاته . في هذه الحالة يظل المجال منتظما ، ولكن لن تكون له قيمة صفرية .

وهناك حالة أخرى محتملة ، وهي وجود أكثر من قيمة للمجال المنتظم كما في حالة الشريط الذي له وجهان ، ويقابل الوجهان هنا أن تكون للمجال قيمة موجبة وأخرى سالبة .

ويبين الشكل (٩) توزيع الطاقة لمجال غير خطي بسيط ، فعند النقطة الصفرية للمجال ، توجد طاقة تشبه قمة تل بين واديين . كل واد يقابل إحدى القيم الدنيا لحالات الطاقة للمجال ، إحداهما عند قيمة موجبة له والأخرى عند قيمة سالبة . فإذا كان المجال له قيمة موجبة



الشكل (٩) منحنى العلاقة بين الطاقة وشدة المجال لمجال غير خطي نمطي يلشا في حالات الجسيمات دون الذرية . فطاقة المجال الصفرية لا تكون الطاقة فيها صفرا (قمة التل) . كما توجد حالتان في حالة المجال الصغرى ، واحدة موجبة والأخرى سالبة ، وتمثلان وجهي الشريط في الشكل (٨) .

فى موضع من الفراغ ، وأخرى سالبة فى موضع مقابل ، فان قيمته يجب أن تساوى صفرا فيما بينهما ، وهنا لابد من وسيلة تركز فيها طاقته الصفرية ، ويكون ذلك عن طريق موجة منفردة ، وهى تظل حبيسة بين الواديين ، ومن ثم لا تفنى (الا اذا صادفتها موجة منفردة مضادة طبعا) .

والتماثل مع الشرائط ليس كاملا ، حيث ان الموجات تنتقل عبرها فى اتجاه واحد فقط . أما المجالات فهى ممتدة فى الأبعاد الثلاثة للفراغ . ودراسة تكون الموجات المنفردة فى هذه الأحوال غاية فى التعقيد ، ولكن المبدأ هو نفسه ، تتركز الطاقة فى مثل هذه الموجات ، وتنحصر حبيسة التشكيلات الطبولوجية دون أن تفنى .

ويعتقد الكثيرون من المنظرين أن الموجات المنفردة يمكن أن تكشف عن نفسها على صورة جسيمات دون ذرية ، ذات خواص مثيرة وغريبة . وفى الواقع ، فان الجسيمات المألوفة لنا كالبروتون والنيوترون وغيرها يمكن أن تعتبر ، من وجهة نظر معينة ، كموجات منفردة لمجالات معينة . أما الموجات الجديدة فهى التى لها خواص مميزة . ومن قبيل ذلك ما اكتشفه (رياضيا) جيرارد تهوفت Gerard t'Hoft والكسندر بوليكوف Alexander Polykov عام ١٩٧٠ . كانا يدرسان نوعا جديدا من المجالات دون الذرية ، يظن أنه مسئول عن القوة النووية القوية (٥) . فاكتشفا ان لهذا المجال أكثر من حالة للطاقة الدنيا ، يمكن بينها أن « يلتوى » المجال . وفى احد هذه التشكيلات كانت الموجة المنفردة الناتجة أشبه بـ « شحنة » مغناطيسية منفردة . وكافة المغناطيسات المعروفة لها قطبان ، موجب وسالب ، ولم تكشف الأبحاث بعد عن وجود مثل ذلك القطب المغناطيسى المنفرد .

وقد امتدت أبحاث الموجات المنفردة مؤخرا لتكون فى الأبعاد الأربعة ، بادخال الزمن كعنصر فى وجودها ، بحيث تكون ذات وجود عابر ، مثل هذه الموجات المنفردة اللحظية « instantons » كما أطلق عليها ، يمكن أن تلعب دورا خطيرا فى العالم دون الذرى ، وذلك لكونها تسمح بتحولات

بين تشكيلات المجالات بصور لم يكن يظن أنه مسموح بها من قبل . وفى عبارة عامة ، يمكن لمجال أن يتغير من تشكيلة الى أخرى بالنفق .

ان دراسة المواضيع المتعلقة بالخواص الطبولوجية ، لنجد مجالات فى العديد من أفرع العلم ، من البيولوجيا الى الفلك . ويعتقد حاليا أنه فى المرحلة المبكرة من عمر الكون ، مرحلة الانفجار العظيم ، كانت المجالات غير الخطية مسيطرة على العمليات الفيزيائية ، وقد تكون قد خلفت تشكيلات طبولوجية لا تزال باقية لليوم ، من ذلك الكينونات خطية الشكل التى أصبحت تعرف باسم الأوتار الفائقة ، التى سنعرض لها فى الفصل السادس .

ولقد تطورت أبحاث اللاخطية فى السنوات الأخيرة تطورا كبيرا ، بفضل الحاسبات فائقة السرعة . هذه الأبحاث المتزايدة للنظم غير الخطية تحول التركيز عن المادة الصماء الخامدة ، الى نظم ذات عناصر من العفوية والادهاش . ان القاموس الميكانيكى القديم للعلم يتلاشى ليفسح مجالا للغة أقرب للغة البيولوجيا منها للفيزياء« التكيف ، التآزر ، التنظيم ، الخ» . وفى كثير من الحالات تظهر نفس الظاهرة فى نظم غير مادية بالمرة ، كشبكات الحاسبات والنماذج الاقتصادية . وعلى ذلك فمع استنفاد التشبيه بالماكينة ، ذوت العلاقة بمادية نيوتن ، ومع التوسع فى الدراسات اللاخطية يتزايد معدل فناء النمط النيوتونى للتفكير ، كأساس لفهم الحقيقة .

ومع ذلك ، وعلى الرغم من هذه النكهة بعد ـ النيوتونية من التطور ، فان الكثير من الأبحاث اللاخطية تحتفظ بفكرة نيوتن عن الفراغ والزمن ؛ ومع التركيز على دراسة النظم بدلا من الآلات ، فان النظم ينظر اليها كمحتلة لفراغ وزمن مطلقين . ولكنا نعرف منذ قرن تقريبا أن هذين العنصرين لمادية نيوتن يجب أن يتخلص منهما ، مما يستتبع نتائج لا تقل بهاء عما قدمناه .

هوامش الفصل الثاني

(١) التعبير الفني لخلط الموجات « تعديل modulation » . ويترجم في بعض الكتابات « التضمين » ، ولفصلها « اعادة التعديل demodulation » . ـ المترجم .

(٢) لمتابعة هذا القسم نعرض المصطلحات التالية :

موجة wave . مويجة ripple . تموجات undulations ، اضطرابات disturbance ، تردد (عدد الموجات في الثانية . ووحداتها هيرتز ، أو مضاعفاته ، مثل ميجاهيرتز) frequency . طول الموجة (المسافة بين قمتين أو قاعين للموجة) wave length . سعة الموجة (أقصى ارتفاع للموجة) amplitude . متراكبة superimposed ـ (المترجم) .

(٣) الذرات في حالتها التأينية ، أي منزوع منها الالكترونات . وهي ما تسمى أحيانا بالصورة الرابعة للمادة ـ (المترجم) .

(٤) نسبة الى ايرفن دافيد جوزيفسون ، حاز على جائزة نوبل عام ١٩٧٣ ـ (المترجم) .

(٥) القوة المسئولة عن ترابط النيوكلونات داخل النواة ، أما القوة النووية الضعيفة فهي المسئولة عن ظاهرة الاشعاع النووي ـ (المترجم) .

الفصل الثالث

الحاضر العجيب

علمنا أينشتين أن المكان والزمان ليسا كما تحس باحاسيسنا الفطرية . بداية . يجب أن ينظر اليهما كواجهتين لكل أكبر ، ألا وهو الزمكان spacetime . ومن وجهة النظر الأكثر شمولية للنظرية النسبية ، تفاهيم كالطول والكتلة والفترة الزمنية يجب أن تأخذ منظورا أرحب مما هي عليه في الحقيقة الجامدة لحياتنا اليومية . حتى فكرة « التواقت simultaneity » ومفهوم « الآن » ، يأخذان خاصية مراوغة تجري على عكس ما اعتاده بفطرتنا . ان ما تأخذه النظرية النسبية بيد ، تعيده باليد الأخرى على صورة مفاهيم وثوابت أساسية أكثر حداثة .

حلبة الفضاء *The arena of space*

يعتبر أغلب الناس الفضاء قضية مسلما بها . انه جزء من خبراتنا اليومية لا يكاد يحتاج للتساؤل عنه . فكيف يمكن للفضاء أن يكون خلاف ما تعودناه عليه ؟ ان الشك لا يبدأ في التسلل لنا الا حين نواجه بسؤال من قبيل : هل هو ممتد الى ما لا نهاية ؟ هل وجد قبل وجود الكون ؟ عند هذه النقطة يثور سؤال آخر : من أين توافت فينا تلك النظرة البديهية للفضاء بادىء ذي بدء ؟

يعود المؤرخون بمفهوم الفضاء كبديهية الى الاغريق ، حيث ربط ربطا وثيقا بتطور الهندسة ، والتي حظيت بأكثر صور الصياغة انضباطا ، وازدهرت على يد اقليدس .

وحتى يضع علماء الهندسة نظرياتهم ، ادخلوا مفاهيم مثالية كالخطوط المتوازية ، عرفت على أنها تمتد الى ما لا نهاية دون أن تتلاقى . وكان وجود مثل هذه الخطوط مطلوبا لكي يمكن للمنظرين من اثبات نظرياتهم ، وهي تتطلب ، ضمنيا ، وجود « لا نهاية » يمكن للخطوط ، من الناحية النظرية ، أن تمتد اليها . وهذه الأفكار ليس منها ضرر ، طالما انها ظلت في حيز التجريد . ولكن المشاكل تدور حين يبدأ التعرف على الفضاء بالمفهوم الفيزيقي ، أي في العالم الواقعي ، من خلال المفهوم الهندسي . واول محاولة من هذا القبيل كانت على يد صاحب فكرة الذرة ، قبل زمن من وقت اقليدس ـ والذي ـ كما ذكرنا في الفصل الأول ـ ذهب الى ان الكون مكون من شيئين لا ثالث لهما : الجسيمات غير القابلة للتجزئة (الذرات) ، والفراغ Void اللانهائي . ونظر الى الفراغ على انه الساحة التي فيها تتحرك الذرات ، وتلعب فيها الدراما الخاصة بها . هذه الصورة قريبة جدا لنظرة الناس الفطرية للفضاء اليوم .

ودخلت فكرة الفراغ اللانهائي في تعارض مباشر مع علم الفلك الاغريقي ، والذي ذهب الى أن الكون محدود وكروي ، فيه الكرة الأرضية مركز لكرات تدور حولها . وكان السؤال حول ماذا يوجد خارج الكرة الخارجية محيرا للغاية . وحاول أرسطو ، في القرن الرابع قبل الميلاد ، تحاشي هذا السؤال بادخال تعريف غريب للفضاء ، مؤكدا أن الكرة الخارجية ليست محتواة في أي شيء ، فهي تحتوي ، ولكنها غير محتواة ، باختصار ، لا يوجد لها خارج .

وكان مؤيدو فكرة الفراغ يواجهون دائما بالأحجية التالية : لنفرض أننا رحلنا الى ابعد نقطة في الكون ، ثم مددنا ذراعنا ، (أو قذفنا برمح ، طبقا للتعبير المفضل لدى الشاعر ليوكريتس) ، ماذا سنلاقي ؟ المزيد من الفراغ ؟ حائط صلد ؟ وماذا سيحدث للذراع (أو الرمح) ، هل ستذوي؟ أم تتلاشى فجأة ؟

وظل التعارض مشتعلا لقرون ، الى عصر النهضة وبزوغ العلم الحديث ، وتحت تأثير كوبرنيكس وجاليليو ونيوتن ، هجرت الفكرة القديمة عن الكرات المحدودة ، وأصبح مفهوم الفضاء اللامحدود المحتوي على النجوم والكواكب مقبولا . ولكن ظهرت عقبة جديدة ، فنيوتن تبنى

تصور الفضاء بما هو أكثر من المفهوم الهندسي ، حيث انه كان مهتما أساسا بالصيغ الرياضية لقوانين الحركة . ويتطلب هذا فراغا ذا خواص ميكانيكية أيضا .

المكان المطلق وقوانين الحركة

من أقدم المسائل في العلم والفلسفة التمييز بين الحركة المطلقة والنسبية . فمن التجارب المألوفة أنك تشعر بتحرك قطارك ، بينما في الواقع الذي تحرك هو قطار مجاور ، تحرك ببطء في اتجاه مضاد . أما لو كانت الحركة فجائية ، فان هذا الخطأ لن يحدث ، بسبب تأثير ذلك على الجسم . فالتغير في السرعة اذن ، أو ما نسميه « العجلة » أو التسارع acceleration ، شيء خلاف السرعة المنتظمة .

وتتضمن قوانين نيوتن الشهيرة ما نسميه اليوم مبدأ النسبية (٦) ، والذي اكتشف بواسطة جاليليو من قبل . ومن الأفضل توضيح المبدأ عن طريق مثال : تخيل أنك على متن طائرة تطير في حركة ثابتة من حيث الاتجاه والسرعة والارتفاع . لن يحدث في هذه الحالة أي احساس بالحركة بأي شكل من الأشكال . وستتم كافة الأنشطة ، كملء كوب من الشاي ، أو التجول داخل الممر ، بصورة طبيعية تماما . وتبعا لتفسير جاليليو ونيوتن ، فذلك بسبب أن الحركة المنتظمة في خط مستقيم هي حركة نسبية تماما ، بمعنى أنها لا اعتبار لها الا حين تنسب لشيء ما . وعلى ذلك ، فقولك ان جسما ما له سرعة كذا لا معنى له ، اذ يجب أن تحدد بالنسبة لأي شيء قيست السرعة . فحينما نقول ان سيارتنا منطلقة بسرعة ثلاثين ميلا في الساعة ، فان ما نقصده أن هذه السرعة منسوبة للطريق . ويبدو التمييز هاما اذا ـ لا قدر الله ـ اصطدمت السيارة بأخرى تسير بنفس السرعة ، وفي اتجاه مضاد . هنا تكون السرعة النسبية بين السيارتين ستين ميلا في الساعة ، وليس ثلاثين ، فهذه هي السرعة التي يتسبب عنها الدمار الحاصل . وعلى ذلك فعلينا أن نتخلى عن فكرة السرعة خلال الفضاء ، حيث لا توجد علامات مميزة تنسب اليها سرعة الأرض مثلا . فقياس سرعة الأرض يقتضي أن تحدد بالنسبة لأي شيء تكون السرعة ، هل بالنسبة للقمر ، أم المريخ ، أم مركز المجرة ؟ كما أنه ليس لنا أن نتصور وجود جسم في حالة سكون مطلق في الفضاء .

فالقصص الخيالية التي تبين أن المعو قد توقف في الفضاء ، تنتمي الى علم ما قبل عصر النهضة .

حركة منتظمة في خط مستقيم اذن لا يميز بين الحركة الحقيقية والظاهرية . ويختلف الأمر حينما تأتي الى الحركة غير المنتظمة . فاذا ما غيرت الطائرة من سرعتها أو اتجاهها ، فان أثرا لذلك سيجعل على شكل اندفاع للأمام أو للخلف ، بينما سيصعب القيام بنشاط ما .

وقد فسر نيوتن هذه الظاهرة بأنها بسبب « القصور inertia » فعلى الرغم من أن الأجسام لا تقاوم الحركة المنتظمة ، فانها تقاوم التغير فيها ، سواء كان تسارعا في نفس الاتجاه ، أو تغيرا في الاتجاه ، أو كليهما . فالأجسام تحاول الاستمرار في الحركة السابقة ، في مواجهة التغير . ومن الأمثلة الهامة في هذا الخصوص ، والتي أولاها نيوتن عناية خاصة ، الحركة الدائرية ، والتي تتولد فيها ما يعرف بالقوة الطاردة المركزية centrifugal force ، هذه القوة يعرفها من ركب أرجوحة دوارة ، أو سيارة انحرفت عن اتجاهها بسرعة .

هذا الخلاف بين الحركة المنتظمة والمتغيرة خلاف عميق ، فبينما أن الحركة المنتظمة نسبية ، فان الحركة المتغيرة تبدو مطلقة . فالمرء يمكنه تمييزها بدون اللجوء لمرجع خارجي . فراكب الأرجوحة الدوارة يعلم أنه متحرك دون الاضطرار للنظر الى الأرض ، وأنه هو المتحرك وليس شيئا آخر بالقرب منه . وقد توصل نيوتن الى أن هذه الحركة التي لا تحتاج لمرجع خارجي يجب أن تنسب للفضاء ذاته ، ووضع اصطلاح « الفضاء المطلق absolute space » ، ناظرا اليه من منظور معين كمادة تحتوي كل الأشياء ، وبداخله يمكن للأشياء أن تتسارع . وبناء على هذه النظرة ، فان رد فعل الفضاء هو الذي يسبب القصور الذاتي ، والقوة الطاردة المركزية ، بالضبط كما تسحب يدك في الماء .

ولتوضيح هذه الفكرة ، تخيل نيوتن هذه التجربة : تخيل دلوا ممتلئا بالماء ، معلقا من حبل طويل ، وهب أن الحبل قد فتل بشدة ، ثم أطلق ، فأخذ الدلو في الدوران (الشكل ١٠) . يظل الماء في البداية غير متأثر ، ثم يبدأ في الدوران أيضا الى أن يدور الدلو والماء بنفس السرعة . وحينما يدور الماء ، فان سطحه سوف يتقوس لأسفل ، بسبب القوة

الشكل (١٠) : تجربة الدلو لنيوتن . يفتل الحبل ثم يترك الدلو المعلق بالماء (الشكل أ) يبدو فيه سطح الماء مستويا . حين يبدأ الدلو في الدوران (السهم المتصل) . يظل السطح مستويا (الحالة ب) . عند سرعة معينة للماء (السهم المتقطع) يتقوس سطح الماء لأسفل (الحالة ج) . اذا ما توقف الدلو ، يظل تقوس الماء برهة (الحالة د) ويوضح ذلك أن تقوس سطح الماء ليس مرتبطا بحركة الماء منسوبا لحركة الدلو .

الطاردة المركزية . واذا ما أمسكت بالدلو لايقافه ، فان الماء سيظل يدور لفترة ، متخذا نفس الشكل المقوس .

يمكنك أن تحكم على دوران الماء بالنظر الى سطحه ، دون رجوع لأى شئ فى الكون ، فالماء ساكن حين يكون سطحه مستويا ، ومتحرك حين يكون مقوسا . وعلى وجه الخصوص ، فالتقوس لا علاقة له بحركة الدلو الحامل للماء . ففى بداية التجربة ، كان الدلو متحركا بالنسبة للماء ولكن السطح كان مستويا ، وفى نهايتها ، كان الدلو ساكنا ، والسطح مقوس، وفى وسطها ، لم تكن هناك حركة نسبية بين الدلو والماء ، ولكن السطح ظل مقوسا ، فى حين أنه قبل بدء التجربة ، لم تكن هناك أيضا حركة نسبية بينهما ، ولكن السطح كان مستويا . وعلى ذلك يبدو ان التقوس ينتج عن الحركة المطلقة للماء ، تلك التى نسبها نيوتن الى اسماه الفضاء المطلق .

ولك ان تدفع بالتجربة قدما ، بتخيل أنك نقلت الدلو والماء للقطب الشمالى ، وعندئذ فانه حتى لو كان الدلو متوقفا عن الدوران ، والماء به ساكن ، ستجد بالقياسات الدقيقة أن التقوس لا يزال موجودا ، فى هذه الحالة بسبب أن دوران الأرض يحمل الماء معه ، نفس الدوران الذى ، ولنفس السبب (القوة الطاردة المركزية) يتسبب فى انبعاج الأرض عند خط الاستواء . فالدوران ليس شيئا ينسب حتى للأرض ، أو للشمس ، أو مركز المجرة ، فسطح الماء سيكون مستويا فى الواقع فقط حينما يكون الماء ساكنا (غير دوار) بالنسبة لأبعد نقطة فى الكون .

والآن ، طبقا لنيوتن ، يكون سطح الماء مستويا حينما يكون الماء غير دوار بالنسبة للفضاء المطلق . وعلى ذلك ، فان اطار الاسناد الذى يحدد الفضاء المطلق يبدو أنه نفس اطار الاسناد الذى توجد فيه المجرات البعيدة ، وتسبيه بذلك قولنا ان كافة المجرات ليست دوارة ، وان الكون بأسره غير دوار ، على الرغم من أن كافة ما فيه ، الكواكب والنجوم والمجرات المنفردة ، تدور . وان هذا المنطق يبدو ملائما لمنطقنا البديهى ، ربما لأن منطقنا البديهى مبنى على ثلاثة قرون من الفيزياء النيوتونية . ولكن هناك رؤية بديلة .

وقد ادعى معاصر لنيوتن ، جوتفريد لايبنز Gottfreid Leibniz انه : « ليس هناك فراغ دون مادة » . وبعد عدة سنوات عارض الفيلسوف الأسقف جورج باركلى George Barkley أيضا فكرة الفضاء المطلق ، معتبرا اياها بغير معنى ، قائلا : « يكفى تغيير الفضاء المطلق الى فضاء نسبى محدد بالسماء وما فيها من نجوم » .

اما بالنسبة للحركة غير المنتظمة ، فقد كتب يقول : « أعتقد أن بامكاننا أن نجد كافة صور الحركة المطلقة التى بامكاننا تصورها ، فى اعماقها ليست الا الحركة النسبية » . لقد اعتبر باركلى أن كل أشكال الحركة ، بما فيها التسارع والدوران ، يجب أن ينظر اليها على أنها نسبية بالنسبة للنجوم الثابتة ، وليس للفضاء .

ولتدعيم منطقه ، يسأل باركلى القارئ أن يتصور شكلا كرويا ، فى فضاء فارغ الا منه . فى مثل هذا الخواء بغير الملامح ، لا يمكن تصور حركة ما لذلك الجسم ، وحتى التسارع والدوران ليس لهما معنى . والآن ، تصور كونا ليس فيه سوى جسمين مرتبطين بحبل ، من الممكن الآن تصور حركة نسبية على طول الخط بين الكرتين ، ولكن الحركة الدائرية للجسمين حول مركز مشترك ليست متصورة . فى المقابل ، لو افترضنا أن سماء ممتلئة بالنجوم قد خلقت ، حينئذ يمكن تصور الحركة الدورانية بالنسبة لتلك الخلفية .

ويتعارض هذا صراحة مع رأى نيوتن حول ما يحدث فى فرض باركلى ، فحتى الجسم الكروى المنفرد يمكن أن نحس بدورانه من انبعاجه عند وسطه ، والجسمان المربوطان بحبل يمكن الاحساس بدورانهما من الشد فى الحبل ، والتأثيران يعودان للقوة الطاردة المركزية ، وقد بين نيوتن صراحة أن التأثير الذى يميز الحركة المطلقة عن النسبية هو تلك القوة .

ورغم النجاح الساحق لميكانيكا نيوتن ورؤية العالم من خلالها ، فان الموضوع الشائك للفضاء المطلق والدوران المطلق لم يختف . ففى

النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، تناول الموضوع الفيلسوف ارنست ماخ Earnest Mach المعروف بأبحاثه في الصوت ، وتكريما لذكراه اطلق اسمه على سرعة الصوت . وقد رفض ماخ تقبل فكرة فضاء مطلق غير منظور ، قائلا ، كما ذهب باركلي ، ان الحركة المنتظمة غير المنتظمة كلتيهما نسبيتان . فالدوران مثلا ، نسبي بالنسبة للنجوم الثابتة . ولكن هذا يترك موضوع القوة الطاردة مفتوحا ، فاذا لم تكن رد فعل من الفضاء المطلق ، فمن أين أتت ؟ ولقد افترض ماخ حلا وجيها . فمن وجهة نظر الشيء الدوار ، يحس بالقوة الطاردة من منظر النجوم تدور ، فهي اذن مصدر تلك القوة . وعلى ذلك ، فالقوة الطاردة ، أو بعبارة أعم ، القصور الذاتي ، ليس رد فعل لفضاء مطلق غامض ، ولكن بسبب الأشياء المادية المتناثرة في الكون الفسيح طبقا لهذه الفكرة ، والتي عرفت بمبدأ ماخ ، فان تقلص معدتك وانت في مركبة بالملاهي سببه جذب من نجوم (مجرات) على أبعاد سحيقة .

وعلى الرغم من ان ماخ لم يستطع ان يقدم صياغة دقيقة لكيفية حدوث ما ذهب اليه ، فان فكرة كون القصور الذاتي تفاعلا بين الجسم والأجسام البعيدة في الكون قد أثرت بعمق على الكثير من المفكرين . فأينشتين يعترف بأنه تأثر بكتابه « الميكانيكا » عند وضعه لنظريته عن الجاذبية ، المعروفة باسم النسبية العامة . ولكنه في هذا الوقت كان قد غير مفاهيم كثيرة عن طبيعة الفضاء والزمن ، في نظريته النسبية الخاصة التي نشرها عام ١٩٠٥ .

بصيرة آينشتين

قوانين نيوتن حين تطبق على الحركة المنتظمة التي تكون فيها سرعة الأجسام واتجاهها ثابتا هي نفسها بالنسبة لكل مشاهد متحرك بسرعة منتظمة ، فهذه القوانين تنكر على أي مشاهد أو جسم مادي ميزة تحديد ثبات مطلق قياسي . وفي هذا المضمار ، يكون السؤال عن سرعة الأرض خلال الفضاء لا معنى له ، بالضبط كما لا يمكن لسفينة الأعداء الفضائية

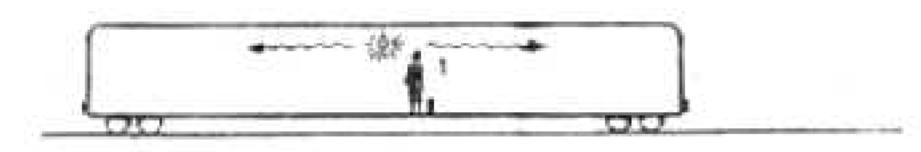
ان تتوقف في الفضاء . ولكن مسألة سرعة الأرض خلال الفضاء أخذت منطقا جديدا في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . فأعمال فاراداي وماكسويل كشفت عن وجود مجال كهرومغناطيسي كعامل مسئول عن نقل القوى الكهربية والمغناطيسية عبر ما كان يتصور أنه فراغ خاو . وقد استنبط ماكسويل المعادلات المعروفة باسمه ، والتي تصف كيفية تنقل الموجات الكهرومغناطيسية لطريقها خلال الفضاء . وقد حسب سرعة هذه الموجات ، ووجد أنها بالضبط تساوي سرعة الضوء ، وحيث ان الضوء كانت سرعته معروفة ، لكن ماهيته لم تكن كذلك ، فان هذا كان دليلا قاطعا على أن الضوء هو نوع من تلك الموجات . ونحن نعلم ايضا ان الاشعاعات كأشعة الراديو واشعة اكس وغيرها هي أيضا من نفس النوع ، وتنطلق بنفس السرعة . ولكن الشيء الغريب في هذا الرقم ، المعبر عن سرعة تلك الموجات ، أنه ثابت محدد بالمعادلات فقط ، فأين المرجع الذي تنسبت اليه هذه السرعة ؟ هذا ما تساءل عنه العلماء ، وبسببه ظهرت فكرة الأثير ، كوسط يملأ الفضاء بأكمله . فالموجات الكهرومغناطيسية ، والتي أصبحت ينظر اليها كاهتزازات منطلقة عبر الأثير ، يجب ان تكون سرعتها منسوبة للأثير . وقد استنتج ذلك على التو انه يمكن قياس سرعة الأرض بمفهوم مطلق ، وليس بالنسبة للفضاء الخاوي ، بل بالنسبة للأثير .

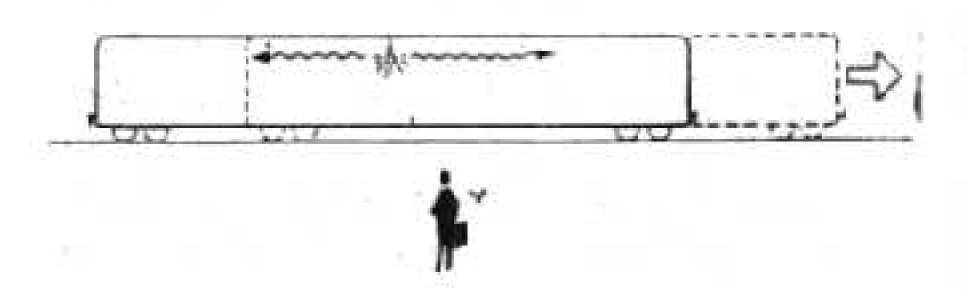
وأصبح الأثير يلعب دور الاطار المرجعي لحالة السكون المطلق . فبالنسبة له يمكن ان تقاس حركات كافة الأجسام . وأصبحت المهمة الأولى على مدى العقدين الأخيرين من القرن الماضي هي : قياس سرعة الأرض للأثير . وذلك بقياس الفرق بين سرعة الضوء في اتجاه حركة الأرض وسرعته متعامدا عليها . وجاءت المفاجأة المذهلة ، حيث أثبتت أدق التجارب دقة ، وعلى وجه الخصوص تلك التي أجريت بواسطة العالمين البرت ميكلسون Albert Mechelson وادوارد مورلي Edward Morly من الولايات المتحدة ، أن السرعة في الاتجاهين واحدة . لم توجد أية دلالة على أي تأثير تسببه الأرض في حركتها عبر الأثير .

ورغم أن آينشتين كان من تحقق على يديه حل اللغز الناتج عن عدم وجود أثر لتيار الأثير عن طريق نظرية النسبية الخاصة عام ١٩٠٥ ، الا أن القضية كانت الشغل الشاغل لعلماء الفيزياء آنذاك ، ومن المؤكد أن الأوان قد حان لتلك النظرية ، وأنها لابد ظاهرة حتى بدون عبقرية آينشتين . والسمة الأساسية لتلك النظرية ثورية بمعنى الكلمة . فهي تفترض أن الأثير لا وجود له ، وأن السبب في أن معادلات ماكسويل تعطي سرعة للضوء ثابتة على مستوى الكون ، هي أن هذه السرعة ثابتة مهما كانت سرعة من يقيسها . والأكثر من ذلك ، هذه السرعة الثابتة ، وهي سرعة الضوء ، تمثل الحد الأقصى لأية سرعة نسبية بين الأجسام المادية ، فلم يحدث على الاطلاق أن يقيس جسم سرعة جسم آخر ، ويجدها أسرع من سرعة الضوء .

ومن هذه الحقيقة ، أي ثبات سرعة الضوء على المستوى الكوني ، تنبع كافة غرائب النظرية النسبية ، ومنها انكماش الطول وتمدد الزمن ، ويمكننا أن نعطي لمحة عن مضمون ذلك بتصور التجربة التالية : تخيل أن قطارا يتحرك ويتنصف احدى مركباته مصدر للضوء . في لحظة معينة أرسلت نبضتان في اتجاهين متضادين ، للأمام وللخلف من المركبة (الشكل ١١) . فراكب القطار سوف يتصوره ثابتا بالنسبة له ، ومن ثم فسيرى أن النبضتين سوف تصلان الى نهاية المركبة في نفس الوقت تماما ، انهما منطلقتان بنفس السرعة ، وتقطعان نفس المسافة .

لنتصور الآن مشاهدا واقفا على رصيف القطار ، يرقب القطار مندفعا في اتجاهه . طبقا لمسلمة آينشتين ، فان سرعة الضوء هي نفسها بالنسبة له ولكلتا النبضتين . فمن وجهة نظره تتقدم مؤخرة القطار تجاه شعاع الضوء القادم لها ، بينما تتباعد المقدمة عن الشعاع المرسل اليها . بمعنى أن شعاع الضوء يقطع في الحالة الأولى مسافة أقل من التي يقطعها الشعاع الآخر ، وبالتالي ستصل النبضة المتجهة للمؤخرة قبل تلك المتجهة للمقدمة .





الشكل (١١) : خدعة « الآن » . يومض المصباح مرسلا ومضتين في الاتجاهين المتضادين في العربة ، الجميع متفق على أن النبضتين قد انطلقتا في نفس اللحظة ، ولكن هل هناك اتفاق على لحظتي وصولهما لنهايتي العربة ؟

(أ) من وجهة نظر المسافر ، النبضتان تتحركان بنفس السرعة ، وتقطعان نفس المسافة ، ولذا ستصلان في نفس اللحظة لنهايتي العربة .

(ب) من وجهة نظر مشاهد على الرصيف ، النبضتان تتحركان بنفس السرعة أيضا ، ولكن لا تقطعان نفس المسافة ، فالنهاية الخلفية تتحرك مع الضوء ، فتقل مسافة النبضة المتجهة اليها ، ويترتب عليه أن يرى النبضة المتجهة للخلف تصل قبل النبضة المتجهة للأمام . يكمن سر الخلاف في كون كلا المراقبين يريان الضوء يتحرك بنفس السرعة .

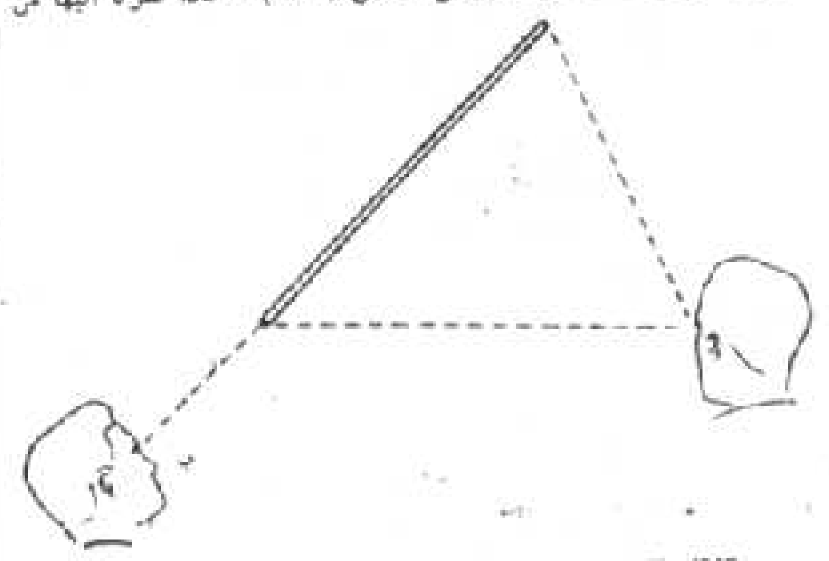
ما الذي نستخلصه من هذه التجربة الخيالية (٤) ؟ ان حادثتين آنيتين (وصول النبضتين لمقدمة العربة ومؤخرتها) بالنسبة لمشاهد (راكب القطار) ليستا كذلك بالنسبة لمشاهد آخر (المشاهد على الرصيف) . وبمعنى آخر ، فالآنية على المستوى الكوني ليست مطلقة ، بل هي نسبية ، فكل مشاهد له قياساته الخاصة به للفترات الزمنية بين الأحداث ، بحسب طبيعة حركته .

وبنفس الطريقة ، نجد أن لكل مشاهد قياساته الخاصة بالنسبة للمسافات بين نفس الأحداث . فمن المتصور أن يرى شخص منطلق في الفضاء بسرعة قريبة من سرعة الضوء المسافة بين الأرض والشمس ١٥ كيلو مترا فقط ، بدلا من ١٥٠ مليون كيلو متر .

تزاوج الفضاء والزمن :

يفقد كل من الفضاء والزمن ، كل على استقلال ، استقلالهما في نظرية آينشتين . الا أن المزج بينهما ، الزمكان spacetime يأخذ معنى جوهريا لا يظهر لو أخذنا كل عنصر من العنصرين على حدة ، فحين يغير جسم متحرك من حالته الحركية ، فان علاقة المكان بالزمن تتغير . مما ينتج عنه أن تتغير طريقة تصورهما . ولكن لما كان الفضاء والمكان هما واجهتين لكل أعم وأشمل . فان الزمكان ذاته يظل ثابتا في خواصه حتى بالنسبة للأجسام المتحركة بطرق مختلفة. وعلى الرغم من أن الزمن يظل فيزيائيا متميزا عن الفضاء ، الا أنه يوجد رباط وثيق يربط الزمن بالأبعاد الثلاثة للفضاء ، بما يبرر التحدث عنهما ككل واحد . كمتصل من أربعة أبعاد ، مستخدمين لغة رياضية تأخذ في الاعتبار التميز الفيزيقي بينهما .

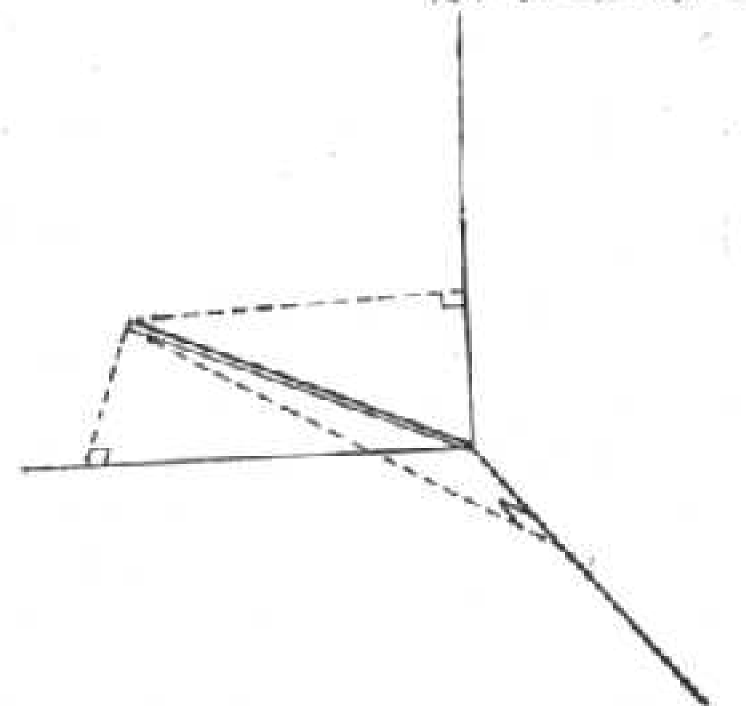
ويمكن فهم الفكرة بالمقارنة بالأبعاد الثلاثة المألوفة للمكان . تخيل عصا تتطلع اليها من عدة اتجاهات . ان الطول الظاهري لها يختلف طبقا لزاوية الرؤية . كما هو مبين في الشكل (١٢) . فاذا نظرنا اليها من



الشكل (١٢) : يعتمد الطول الظاهري لعصا على الزاوية التي تنظر اليها بها ، فبينما يرى المشاهد (أ) العصا بكامل طولها ، يراها المشاهد (ب) كنقطة .

اتجاه متعامد عليها فستظهر لنا ببعدها الحقيقي ، بينما لو نظرنا اليها من نفس اتجاه طولها لبدا طولها صفرا . الا أن العقل البشري قد تآلف مع هذه الظاهرة ، فلم نعد نخدع بها .

وتوجد صياغة رياضية بسيطة تربط الطول الحقيقي بالأطوال الظاهرية في الأبعاد الثلاثة للمكان تقول : « للحصول على الطول الحقيقي خذ مربعات الأطوال الظاهرية ، واجمعها معا ، ثم خذ الجذر التربيعي للمجموع » (الشكل ١٣) . وقد يشعر القارىء بحق أنها تعميم لنظرية فيثاغورث في الأبعاد الثلاثة . ويقوم العقل البشري بهذه المهمة تلقائيا ، حيث يرى النتيجة شيئا بديهيا .



الشكل (١٣) : يمكن حساب الطول الحقيقي لعصا بتطبيق نظرية فيثاغورث على مساقط العصا على الأسطح الثلاثة المتعامدة .

وفي الأبعاد الأربعة للزمكان ، علينا أن ننظر ، للأشياء كالعصا على أنها ذات أبعاد أربعة . فما معنى ذلك ؟ انها تعني أنه لابد من الأخذ في

الاعتبار اللحظات التى يرى فيها نهايتى العصا . فلو كانت تلك اللحظات تقع عند أزمنة مختلفة ، فان العصا سيكون لها امتداد فى الزمن كما هو لها فى الفضاء . وفى هذا الوضع رباعى الأبعاد ، هناك أيضا اختلاف فى الطول الظاهرى للعصا . وحيث اننا نتحدث عن أربعة أبعاد وليس ثلاثة فان زاوية الرؤية ستكون أوسع مجالا . وقد عرفنا كيف تتغير زاوية الرؤية فى الفضاء ، فكيف تغير الزاوية بين ، مثلا الاتجاه العمودى فى الفضاء ، والزمن ؟ الاجابة ، بالتحرك فى الاتجاه العمودى بسرعة محسوسة بالنسبة لسرعة الضوء ، عندئذ سيبدو الطول اقصر فى اتجاه الحركة . هذا ببساطة هو الانكماش الطولى الذى أشرنا اليه من قبل . وفى المقابل ، تتمدد الفترات الزمنية مع هذا التحرك . ويمكن النظر لهذا التأثير على أنه مقايضة بين المسافة والزمن . والسؤال اذن ، ما هى نسبة التحويل فى هذه المقايضة ؟ حيث ان سرعة الضوء هى الرابطة بين الاثنين ، وهو ٣٠٠ ألف كيلو متر فى الثانية ، فان الثانية تكون مساوية لمسافة ٣٠٠ ألف كيلو متر ، وهى ما نطلق عليه الثانية الضوئية (٦) .

والسبب فى عدم شعورنا بالكون كرباعى الأبعاد هو ان المقايضة بين المسافة والزمن لا تحس الا عند التحرك بسرعات تقترب من سرعة الضوء . وحيث ان تحرك جسم مادى بهذه السرعة أمر غير متصور فى الحياة اليومية ، فلم يكن من داع لأن يتكيف العقل البشرى على ذلك .

ولنأخذ مثالا محددا ، عند حوالى ٩٠ بالمائة من سرعة الضوء ، تنكمش الأطوال بحوالى النصف ، بينما تبطىء الساعة بحيث تسير بنصف سرعتها . الا أن هذه التغيرات ذات طبيعة نسبية ، أى منسوبة لمشاهد معين . فالساحرة المتطية العصا وتطير بتلك السرعة لن تشاهد أى تغير لا فى طول عصاتها ولا فى ساعتها التى تحدد مرور الزمن بالنسبة لها . بل انها سترى أن هذه التغيرات قد حدثت بالنسبة للأرض ، فانكمشت فيها الأطوال وتباطأت الساعات بالنسبة لساعتها . وعلى ذلك ، فبالنسبة للمشاهدين المتحركين بسرعات مختلفة ، فكل سيرى التغير قد حاق بالمشاهد الآخر ، فانكمش طوله وتباطأت ساعته .

ورغم هذا التمازج الحميم بين الزمن والفضاء ، فان الزمن سيظل هو الزمن ، والفضاء هو الفضاء . هذا التميز يجد تعبيرا عنه فى الصياغة الرياضية ، بتعديل طفيف فى نظرية فيثاغورث ، هو أن مربع الزمن (بعد تحويله لمسافة كما سبق) يطرح من مجموع مربعات المسافات ، لا يجمع عليها . هذا الفرق بدوره يتمخض عن نتائج غريبة . فنائج الطرح قد يكون موجبا ، سالبا ، او صفرا . اما فى حالة الأبعاد المسافية الصرف ، فناتج الجمع موجب دائما ، ولا يمثل أخذ الجذر التربيعى مشكلة . اما فى حالة الأبعاد الأربعة ، فالمسألة أعقد من ذلك .

لنفرض أن الحادثتين المرصودتين هما انفجار نجمين فى السماء ، يبعدان سنتين ضوئيتين بالنسبة لاطار اسناد الأرض . فاذا ما رصد المشاهد الأرضى الفترة الزمنية بين الحادثتين على أنها سنة ، فان البعد الفراغى (سنتان ضوئيتان) يكون أكبر من البعد الزمنى (سنة ضوئية) . ويكون ناتج الطرح للمربعات هو ٤ ـ ١ = ٣ ، وهو مقدار موجب . نقول هنا ان البعد الزمكانى هو « مكانى » النسبة . أما لو رصدت الحادثتان على أن الزمن بينهما ثلاث سنوات ضوئية ، فان ناتج الطرح سيكون ٤ ـ ٩ = ٥ ، اى : مقدار سالب،والقارىء ذو الدراية بالرياضيات يعرف أن جذر العدد السالب هو كمية تخيلية . ونقول هنا ان البعد فى الزمكان ذو سمة « زمنية » ، ولسوف نعود لهذه النقطة فى موضع آخر .

ومن المحتمل أيضا ان يكون ناتج الطرح صفرا ، اذا تساوت المسافة الزمنية مع المسافة الفضائية (المكانية) ، بأن رصدت الفترة بين الحادثتين فكانت سنتين . هنا يكون البعد الزمكانى مساويا للصفر . فمن وجهة نظر الزمكان ، لا يوجد تباعد بين الحادثتين . هنا أيضا نقول ان البعد الزمكانى ذو سمة « زمنية » ، لأن الحادث هنا أن نبضة الضوء من الانفجار الأول قد وصلت النجم الثانى فى لحظة انفجاره بالضبط . ولهذا السبب يمكن النظر للنقاط على مسار الزمكان لنبضة ضوئية على ان الأبعاد الزمكانية بينها صفر . وعلى ذلك ، فرغم أن الزمن والمكان قد امتد كلاهما بالنسبة للنبضة الضوئية ، فانه من وجهة نظر الزمكان لا يوجد اى

تباعد . ويعبر عن ذلك احيانا بان الفوتون (جسيم الضوء) يزود كل النقاط على خط مساره فى نفس اللحظة . او انه بالنسبة للفوتون ليست هناك مسافة ما يقطعها عبر الكون .

وقد أظهر هذا التصور للكون رباعى الأبعاد مقدرة فائقة فى تفسير الكثير من الظواهر الفيزيائية ، حتى غدا مفهوما ومقبولا تماما لتصور العالم . ولقد محى من منطق التفكير ما تعارفنا عليه من « الآن » . او تقسيم الزمن الى ماض وحاضر ومستقبل . وقد عبر آينشتين عن ذلك فى خطاب لصديق حول الموت : « ان الماضى والحاضر والمستقبل بالنسبة لنا نحن الفيزيقيين المخضرمين ، مجرد خدعة مهما استقرت هذه المفاهيم فى الأذهان » . والسبب فى ذلك أن الزمن لم يعد ، من وجهة نظر النسبية ، « يحدث » حثيثا ، او لحظة بعد لحظة . بل هو يمتد ، كما المسافة ، فى كليته . فالزمن ببساطة « هناك » .

وحتى تفهم مدلول ذلك ، يجب أن تتفهم أولا أن « الآن » بالنسبة لى ليس بالضرورة كذلك بالنسبة لك . والسبب فى ذلك ، كما رأينا هو أن توافت حادثتين متباعدتين فى الفضاء هو أمر نسبى . فما يراه شخص قد حدث قبل شىء ما ، قد يراه آخر فى مكان آخر قد حدث بعده . ونحن لا نحس بهذا فى حياتنا اليومية لأن سرعة الضوء من الكبر بحيث ان اختلاف الفترات الزمنية ليس ملحوظا على مستوى المسافات الأرضية . أما على المستوى الفلكى ، فالتأثير هائل . فحادثة فى احدى المجرات قد تراها حدثت عند الظهر فى معمل أرضى قد تبدو متأخرة لقرون من وجهة نظرك لو كنت منطلقا فى مركبة بسرعة فائقة .

ولهذه الأفكار مضامين هائلة . فاذا كانت « اللحظة الحالية » أمرا يختلف باختلاف تحرك المرء على المستوى الكونى ، فمعنى هذا أنه لدينا مدى من « الحواضر » ، البعض منه قد يقع فيما تعتبره أنت ماضيا ، والبعض فيما تعتبره مستقبلا ، على حسب المشاهدين (الشكل ١٤) . وبعبارة أخرى ، فلحظات الزمن ليست أشياء « تحدث » فى مكان فى نفس الوقت . حيث لن يكون سوى « حاضر » واحد حقيقى . بل ان

الزمن يمتد بصورة ما ، مثله فى ذلك مثل المسافة المكانية ، بحيث ان ما يعتبره شخص يحدث الآن ، هو أمر نسبى له هو .

الزمن
ب'
ب
ا
مدى الحواضر
الفراغ

الشكل (١٤) : بالنسبة لاطار مرجعى معين يكون الحدثان (ا) و (ب) آنيين بمعنى ان (ب) يحدث فى نفس اللحظة مع (ا) . بالنسبة لاطار آخر ، فالحدث (ب') هو الذى يحدث فى نفس اللحظة (ا) . أى من الحدثين يمكن ان يعتبر حادثا « الآن » من وجهة نظر (ا) . الاجابة : ليس أى منهما . فالآن مفهوم نسبى ، هناك مدى من « اللحظات الحالية » يمتد من (ب) الى (ب') ، بحسب السرعة التى يتحرك بها المراقب . وقد يكون المدى لعدة قرون ! . فأى جدل بأن « اللحظة الحالية » هى الحقيقة جدل بلا معنى ، فالزمن يمتد مثل الفضاء ، ويكون الماضى والحاضر والمستقبل على قدم المساواة من حيث الوجود .

فهل يمكن تصور أن المستقبل ، من منظور ما ، واقع بالفعل « هناك » ؟ هل بامكاننا التنبؤ بالمستقبل ، بمجرد تغيير طبيعة التحرك فى الواقع . فانه فى تجربة القطار السابقة ، لو تصورنا قطارا آخر يسير بسرعة تتجاوز القطار الأول ، فانه بالنسبة لشاهد على متنه ستكون الحوادث معكوسة فى الزمن بالنسبة لما يشاهده مراقب الرصيف . سيبدو ذلك كما لو كان الزمن « يسير للوراء » ، من وجهة نظر ما . على انك لا يمكنك السفر بسرعة كافية تمكنك من رؤية مستقبلك أنت . فلكى يتحقق ذلك ، يجب أن تنتقل المعلومات من مستقبلك بسرعة ستكون معها

حاصل طرح المربعات سالبا . وقد ذكرنا أن السفر بسرعة الضوء يجعل المسافة الزمكانية تساوى الصفر . ولجعل هذه المسافة أصغر من ذلك ، حتى تكون المسافة سالبة ، يتطلب الأمر تحركا بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، وهو الأمر المحظور طبقا للنظرية النسبية .

وبصورة أكثر تحديدا ، فالنظرية تمنع اى تأثير فيزيقى ، او قوة ، او اشارة أن تتسارع حتى تكتسب سرعة أكبر من سرعة الضوء . ومعنى ذلك أن الحوادث التى ليست بينها رابطة سببية هى فقط التى يمكن للزمن أن ينعكس فيما بينها . ففى حالة مثال القطارين ، مهما كان اطار الاسناد للمشاهد ، فسوف تصل الاشارتان الى نهايتى المركبة بعد لحظة اطلاقهما ، وليس قبلها ، حيث ان الاطلاق مرتبط سببيا بالوصول . اما لحظتا وصولهما بالنسبة لبعضها البعض فيمكن أن تنعكسا من مشاهد آخر ، حيث انه ليس لأيهما تأثير على الأخرى . اما بالنسبة للسبب والتأثير ، فاقصى ما يمكن حدوثه ، مع الاقتراب من سرعة الضوء ، هو ان يظهرا كما لو كانا فى لحظة واحدة ، ولكن لن ينعكس ترتيبهما على الاطلاق . فخداع انعكاس ترتيب الحوادث ممكن فقط فى الحالات غير المتأثرة ببعضها البعض ، فليس لنا ، بأية حال ، أن نعكس التسلسل السببى .

ولعله من المناسب ان نذكر ، باختصار ، أن كل مضامين النظريه النسبية ، بما فى ذلك الانكماش الطول وتمدد الزمن والحاجة الى القياس فى الأبعاد الأربعة قد تأكدت بالتجارب المباشرة . فهناك الكثير من الجسيمات دون الذرية التى تنتج فى المعجلات الذرية ، وهى التى يمكنها التحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، قد أظهرت صراحة آثارا كالتى تنبأت بها النظرية النسبية . واحيانا ما تكون هذه التأثيرات حاسمة ، فعلى سبيل المثال ، يمكن ان يمتد العمر المقرر لجسيم منها بمقدار قد يصل لعشرين مرة أو اكثر .

وفى أحد المعجلات المذكورة ، تمت الاستفادة من تمديد الزمن . فالالكترون حين يعجل يبث اشعاعات كهرومغناطيسية . وقد وجد انه مع زيادة سرعته فان طول الموجة المشعة يزداد ، وهو ما يجعل الاشعاع اكثر فائدة فى بعض الاستخدامات العملية . وايضا ، فى الذرات الثقيلة

يمكن ان تصل سرعة الالكترونات حول النواة الى سرعات تقترب من سرعة الضوء ، فتتعرض بذلك لتأثيرات النسبية ، وهو ما قد يؤثر على خواص المادة ككل ، فاليها يرجع مثلا بريق المعادن .

وكنتيجة لعشرات السنين من التجارب الدقيقة ، لم يعد هناك شك بأية درجة فى دقة النظرية النسبية الخاصة ، كتعبير عن المكان والزمن من وجهة نظر المشاهدين ذوى السرعات الثابتة والمختلفة بالنسبة لبعضهم البعض . والقصور فيها هو انها ليست مؤهلة للتعامل مع الحركة غير المنتظمة ، أو مع الجاذبية . وهو ما تولى آينشتين تحقيقه فى نظريته النسبية العامة ، والتى سميت كذلك لكونها تتعامل مع أمور أعم مما تتعامل معه النسبية الخاصة .

الوقوع فى قبضة الجاذبية

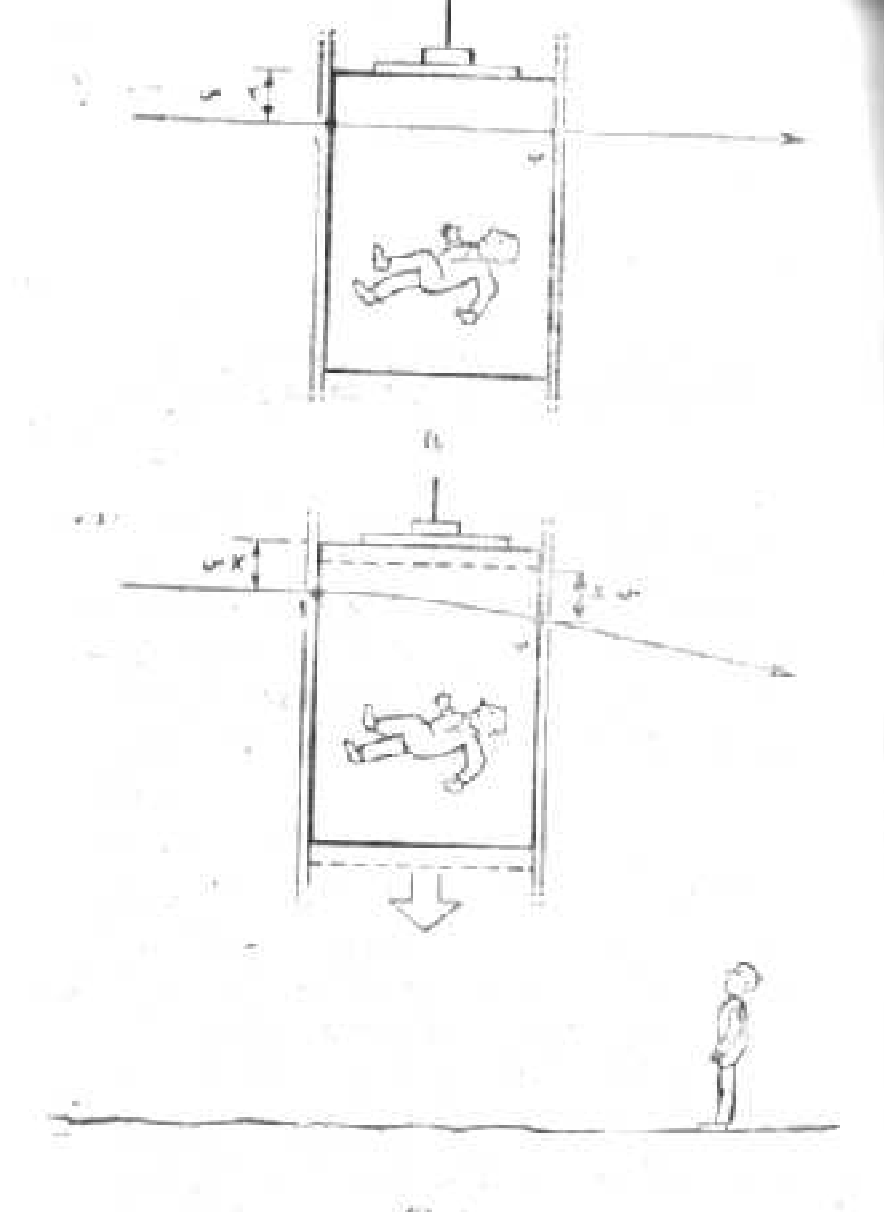
على العكس من النسبية الخاصة ، لم تكن النسبية العامة لتظهر لعشرات من السنين لولا عبقرية آينشتين . فعلى الرغم من كون مسألة القصور الذاتى قد شغلت بعض الناس ، مثل ماخ ، الا انه لم يحدث أمر ملح يدعو لتنقيح النظرية النسبية الخاصة ، على غرار تجربة مورلى ــ ميكلسون التى بينت القصور فى نظرية نيوتن . ولقد قام آينشتين بعمله الرائع كصياغة رياضية لوصف الكون ــ كأحد أعمال التجريد النظرى على أرقى مستوى . وباستثناء بعض التجارب التى أجريت بعد نشر النظرية بوقت قليل ، فان الأمر تطلب ستين عاما ، الى أن اكتشفت النابضات ، والكوازرات ، والثقوب السوداء ، لتقف النظرية كاحدى الدعائم الأساسية للعلم الحديث ، تشرح خصائص جوهرية للكون . والسبب فى سعة تطبيقاتها فى المجال الفلكى هو أن كل هذه الأجرام العجيبة تمتلك مجالا جاذبيا مهولا ، والنظرية النسبية العامة هى فى الأعم الغالب منها ، نظرية عن الجاذبية .

وكان نفاذ بصيرة آينشتين فيما يتعلق بطبيعة الجاذبية بسبب تفكيره العميق فى لغز القوى المصاحبة للسرعة غير المنتظمة ، قوى القصور

الثاني . وكان يقول ان الالهام الذي قاده الى طريق هذه النظرية اتى من فكرة أن الشخص الساقط من سطح ، أو المحبوس في مصعد يسقط ، لا يشعر بقوة الجاذبية . فلو أن المصعد أخذ في التسارع الى أن استطاع ان يتلاشى تأثير الجاذبية بالضبط ، ونصل بذلك لانعدام الوزن ، فان قوة الجاذبية وقوة القصور سوف يتكافآن كل منهما مع الآخر (٧) .

والتكافؤ بين قوى الجاذبية وقوة القصور الذاتي هو محور جوهري في النسبية العامة ، فقد رفعه الى مستوى المبادئ الأساسية . وهو يؤدي مباشرة الى احد أهم توقعات النظرية . تخيل انك في مصعد يهوي ، وأنك تتطلع الى شعاع من الضوء عابر للمصعد . فبالنسبة للمصعد ، يسير الضوء في خط مستقيم ، ولكن بالنسبة لمراقب على الأرض ، فالشعاع ينحني ، كما هو مبين في الشكل (١٥) . وهذا المراقب سوف يعزو الانحناء الى تأثير الجاذبية ، وعلى ذلك فقد تنبأ آينشتين بأن الضوء ينحني بتأثير الجاذبية . هذا التنبؤ تم اختبار بواسطة الفلكي آرثر ادنجتون Arthur Edington خلال الكسوف الكلي لعام ١٩١٩ ، وقد قاس ادنجتون الازاحة الطفيفة في مواضع النجوم بالقرب من قرص الشمس الكاسف ، وقد عزى ذلك الى انحناء شعاع الضوء عند مروره بالقرب من الشمس (الشكل ١٦) .

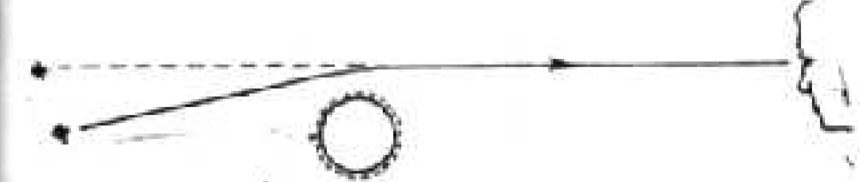
وحقيقة أن الشخص المراقب في مصعد يهوي ينعدم وزنه ، يجعل الأمر يبدو كما لو كانت الجاذبية يمكن تلافيها بمجرد تغيير اطار الاسناد ، الا أن الأمر على خلاف ذلك ، فحتى بالنسبة للمصعد الساقط يمكن للمراقب أن يقول ان الأرض تمارس جاذبيتها . فالأشياء القريبة من أرضية المصعد أقرب شيئا ما للأرض عن الموجودة قرب السقف ، وحيث ان جاذبية الأرض تقل بزيادة المسافة ، فان الأشياء القريبة من الأرضية تتسارع بدرجة أكبر قليلا عن المرتفعة . ويترتب على ذلك أن الأشياء الساقطة سقوطا حرا على ارتفاعات مختلفة (سواء أكانت في مصعد أم لا) تميل للتباعد . وفي الواقع فان هذه الحركات التفاضلية هي المسئولة عن ارتفاع المد في المحيطات بسبب القمر ، ومن ثم يطلق عليها « قوى المد tidal forces » .



الشكل (١٥) : فوتون (ومضة ضوء) يعبر مصعدا ساقطا ، من ثقب الى ثقب مقابل .

(أ) بالنسبة للاطار المرجعي للشخص البائس الموجود داخل المصعد ، [والذي بالنسبة له يعتبر المصعد في حالة سكون] ، يدخل الفوتون من النافذة (س) ويخرج من (ص) ، وكلتاهما على نفس المسافة من السقف ، فيبدو المسار خطا مستقيما .

(ب) بالنسبة للشاهد على الأرض ، يأخذ المصعد عجلة أسفل خلال زمن عبور الضوء . ولكي يخرج الضوء من نقطة على نفس المسافة من السقف ، يجب أن يهبط قليلا ، وعلى ذلك فالجاذبية تحني الضوء .



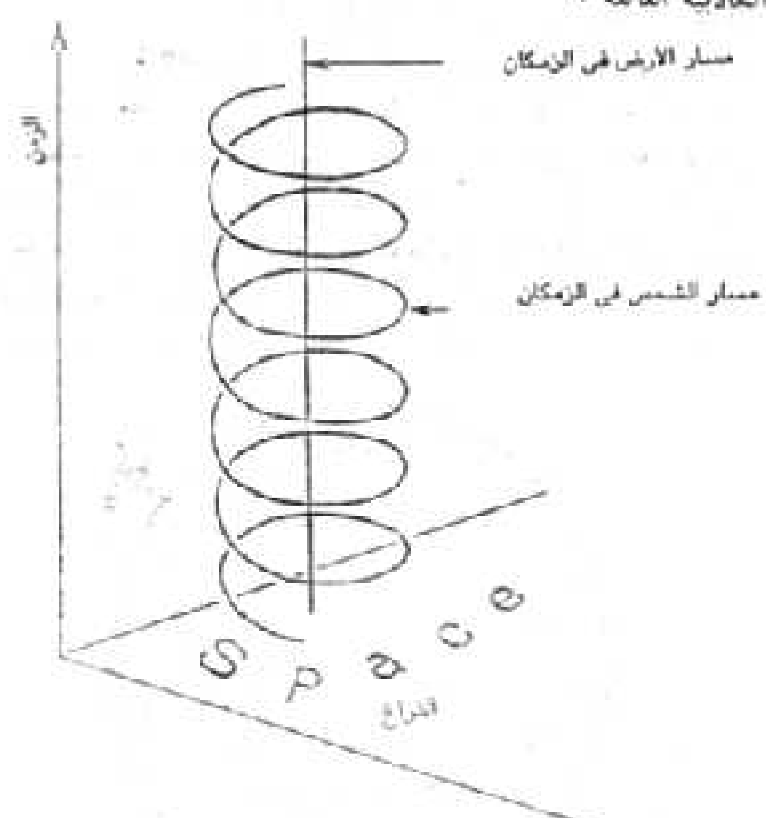
الشكل (١٦) : جاذبية الشمس تحنى الضوء ، ومن ثم يبدو نجم عند رؤيته فى وجود الشمس (وهو ممكن فقط اثناء كسوف كلى) مزاحا بقدر معين عن مكانه الأصلى .

وقد ادرك آينشتين ان قوى المد لا يمكن ان تتلاشى بتغيير اطار الاسناد ، فهى تمثل تأثيرا حقيقيا للمجال التجاذبى فى مقاومته لنشاطه . وقد ذهب الى أنه اذا كان تأثير هذه القوى هو ان تمط او تشوه من المسافات بين الأجسام الساقطة سقوطا حرا ، فان الوصف الأكثر الملائما لجاذبية المد هو أنها تشويه او مط للزمكان ذاته . وبمعنى آخر ، بدلا من النظر للجاذبية كقوة ، يدعونا آينشتين أن ننظر اليها كتقوس او التواء فى الزمكان .

ومن منظور معين ، يمكن النظر الى انحناء شعاع النجوم عند مرورها بالقرب من الشمس على أنه مسح مباشر لتقوس الفضاء حولها . ولكن من المهم ادراك أن التقوس حادث فى الزمكان ، وليس فى المكان فقط فالأرض تتبع مسارا اهليجيا مقفلا حول الشمس ، وفى اول لقاء بالنظرية النسبية العامة من الطبيعى ان نخمن أن هذا يعنى ان الكوكب يتبع مسارا خلال الفضاء المقوس الخاضع لمجال جاذبية الشمس . ولكن حيث ان مسار الأرض مقفل ، فان هذا قد يبدو وكان الفضاء مطوى بصورة ما حول الشمس ، يبتلع المجموعة الشمسية فيما يدعى الثقوب السوداء . ومن الواضح فساد هذا التصور . والخطأ دقيق ، ولكنه جوهرى . فمن وجهة نظر الزمكان ، فالمسار ليس مقفلا ، ولكنه يأخذ الشكل اللولبى المبين فى الشكل (١٧) .

فبعد كل دورة حول الشمس ، تعود الأرض الى موقعها السابق فى المكان ، ولكن فى زمن مختلف ، متقدمة سنة بعد أخرى مع كل دورة .

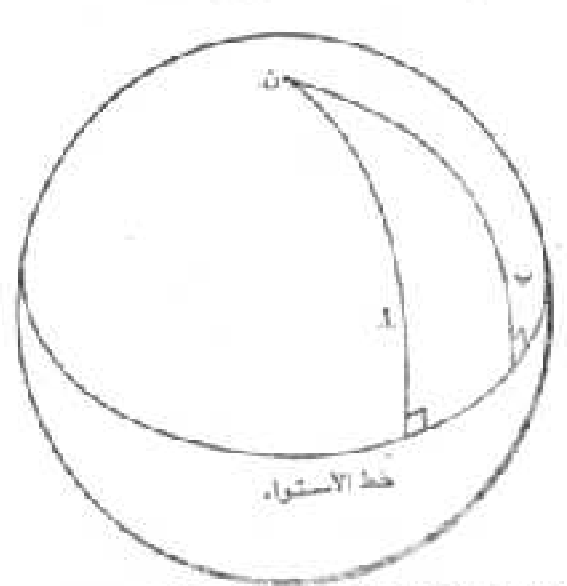
وفى كل مرة نأخذ الزمن فى الاعتبار كجزء من الزمكان ، فاننا نضربه فى سرعة الضوء ، وهى كمية كبيرة ، مما يعنى أن اللولب سيمط فى البعد الزمنى بصورة هائلة . ، فالمسافة ، على طول المحور التى تقابل دورة واحدة هى سنة ضوئية ، اى حوالى ٩٥٠٠ بليون كيلو متر . وعلى ذلك فالصورة الصحيحة لمسار الأرض حول الشمس من منظور تقوس الزمكان أن التقوس غاية فى الضآلة . هذه الضآلة مرجعها الى أن جاذبية الشمس، مع كبرها بالمقياس الأرضى ، ضئيلة بالفعل على المقياس الفلكى . ولسوف نشاهد تأثيرات جوهرية لمثل هذا التقوس مع الأجرام ذات الجاذبية الفائقة .



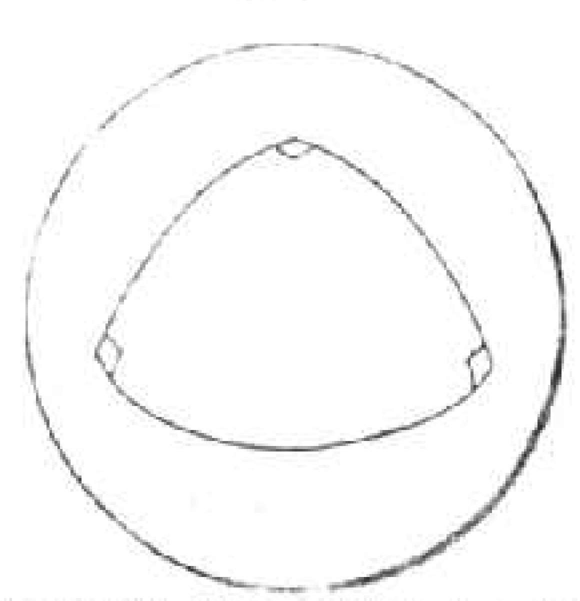
الشكل (١٧) : تبدو الأرض حين ينظر اليها عبر الزمان متخذة مسارا لولبيا حول الشمس . ولأن كل لحظة يجب ان تضرب فى سرعة الضوء (وهى مقدار ضخم) لكى يمكن مقارنة الزمن بالمسافة ، فان اللولب يبدو ممطوطا بدرجة كبيرة جدا فى الاتجاه الرأسى عما يبدو فى الشكل .

وتتمثل جرأة آينشتين في تعرضه لمسألة الجاذبية والحركة غير المنتظمة في الغائه لفكرة الفضاء المسطح ، وادخاله فكرة الزمكان المقوس . وبعد أن هدم نظرية نيوتن في نسبيته الخاصة ، فقد تسبيته العامة هدم الهندسة الاقليدية في وصفها للكون في نسبيته العامة .

ولكن ما الفضاء المقوس ، ناهيك عن الزمكان المقوس ؟ لنعد الى النقطة الجوهرية في هندسة اقليدس ، الخطوط المتوازية التي لا تلتقي مهما امتدت . في القرن التاسع عشر ابتكر كارل جاوس Karl Gauss وجورج ريمان Gorge Reimann ونيكولاى لوباشفسكى Nikolay Lobachevsky الهندسة غير الاقليدية (٨) ، والتي لا وجود فيها لخطوط متوازية ، وهي هندسة تطبق في دراسة الأسطح المنحنية ، فعلى سطح الأرض مثلا ، قد تبدو الخطوط متوازية في البداية ، ولكنها ستتلاقى بالضرورة في النهاية (الشكل ١٨) . والهندسة غير الاقليدية لها خواص تختلف عن الاقليدية ، فبينما مجموع زوايا المثلث في الهندسة الاقليدية هو زاويتان قائمتان ، فان المثلث المبين في الشكل (١٩) ، والمرسوم على سطح كرة ، له ثلاث زوايا قائمة .



الشكل (١٨) : عند خط الاستواء ، تبدو خطوط الطول متوازية ، الا انها تلتقي عند القطبين بسبب انحناء سطح الأرض .



الشكل (١٩) : على السطوح المنحنية ، يمكن ان يكون المثلث محتويا على ثلاثة زوايا قائمة ، اي يكون مجموع زواياه ٢٧٠ درجة .

فحينما وصف الجاذبية على أنها تقوس في الزمكان ، كان آينشتين يقصد تطبيق الهندسة غير الاقليدية عليه . ففكرة أن المكان والزمن يمكن ان يشوها بما يجري فيهما من حركة ، فان الفكرة قد امتدت للجاذبية ، بحيث ان وجود المادة في الزمكان يمكن أن تسبب التشوه ، أو التقوس ، في المكان والزمن . ففي نظرية آينشتين ، وعلى عكس الوضع في نظرية نيوتن ، يجب معاملة الزمكان كنظام رياضي له كيانه ، فهو ليس مجرد ساحة تلعب فيها الطبيعة العابها ، بل هو أحد الداخلين في اللعبة . ومعنى ذلك أنه توجد قوانين ميكانيكية للزمكان ذاته ، قوانين تحكم كيفية تغيره . وبينما الأجرام ذات الجاذبية تتحرك ، فان المكان والزمن يتشكلان بحيث ان المزيج منهما يتغير . بل من الممكن أن يحدث اهتزازات في الزمكان،على صورة موجات الجاذبية gravitational waves ،وهي الظاهرة التي سنتناولها في الفصل السادس .

تمدنا النسبية العامة بالوصف الدقيق لكيفية تحرك الأجسام في وجود المجال الجاذبي من خلال فكرة تقوس الزمكان . وقد عبر جون ويلر John Wheeler أحد المسئولين عن تطوير النظرية النسبية العامة في عام

يسمح للنظرية الا فى كون مغلق ومحدود . وأبسط طريقة لشرح معنى ذلك هو تصور سطح الأرض . فكوكبنا محدود بكل تأكيد ، ملتف فى شكل كروى الى حد ما ، ولكنه بغير حواف . ارحل فى اى اتجاه وستجد نفسك قد عدت الى نفس النقطة . وبهذا المفهوم فالسطح مغلق ، ولكنه بدون حدود . فلو كان الكون بأكمله مغلقا ، فان المرء يمكنه تصور فضاء ثلاثى الأبعاد ، ملتف حول نفسه فى شكل يتيح حجما محددا ، ولكن بلا حواف . وسوف يتحقق انك لو تحركت فى اتجاه واحد لمدة كافية ، تماما يحدث على الأرض ، ستعود الى نفس النقطة .

ولكن رغم ما يبدو من ان مبدأ ماخ لن ينجح الا فى كون مغلق ، فان الكون المغلق لا يجب بالضرورة ان يتضمن المبدأ . وبشكل عام ، فالنسبية العامة ليست متوافقة مع ذلك المبدأ . وفى عام ١٩٤٩ وجد الرياضى كورت جودل Kurt Godel من معهد الدراسات المتقدمة فى برنستون حلا لمعادلة أينشتين يمكن ان تصف كونا دوارا . ولا يعنى ذلك اننا نقطن كونا دوارا بالفعل ، ولكنه يبين ان مبدأ ماخ ليس محتوى فى النسبية العامة ، حيث ان دوران الكون ككل امر لا معنى له طبقا لمنطق ماخ . فبالنسبة لأى شىء يدور الكون بأكمله ؟ ومن هذا المنطلق فان النسبية العامة ، وبالرغم من اسمها ، أقرب لروح فضاء نيوتن المطلق منها الى حركة ماخ وباركلى النسبية .

ومع ذلك ، فالنظرية تتنبأ ببعض التأثيرات المتعلقة بمبدأ ماخ . ومن ذلك ما اكتشفه أينشتين نفسه ، وكتب عنه لماخ . فقد وصل بمنطقه الى أنه اذا كان دوران جسم سيعتبر انه بالنسبة للكون الملىء بالأجسام المادية بأكمله ، فان كل جسم فى الكون يجب أن يمارس بعضا من التأثير عليه . والجزء الأكبر من القوة الطاردة يجب أن تعزى الى أبعد الأجسام فى الكون . وبعد ذلك بحث أينشتين حالة جسم موجود داخل شريحة كروية سميكة تدور حول محورها (بالنسبة للنجوم البعيدة) بسرعة فائقة . وبالقدر الذى تساهم فيه الشريحة فى تأثير ماخ الكونى ، فانها يجب أن تمارس قدرا ضئيلا ولكن ملموسا على الجسم الذى بداخلها ، على شكل قوة تجره فى اتجاه الدوران .

١٩٦٠ عن هذه الرابطة بالقاعدة الأصولية التالية : « تخبر المادة الفضاء كيف ينحنى ، ويخبر الفضاء المادة كيف تتحرك » . ولكن النسبية العامة مع ذلك لا تنجح تماما فى ادخال مبدأ ماخ فى الصورة . فالقوة الوحيدة التى تبرز تأثير المجرات البعيدة على معدتك وأنت فى مركبة الملاهى هى الجاذبية ، ولكن الجاذبية تبدو للوهلة الأولى أوهن بمراحل من أن تقوم بهذه المهمة . فقانون التربيع العكسى لنيوتن لا يزال مطبقا فى النسبية العامة ، ويبين كيف تضعف الجاذبية بمعدل سريع مع المسافة . وفى المقابل ، فتركيز المادة فى الكون ثابت الى حد كبير على المستوى الشاسع ، بما يجعل كمية المادة فى شريحة كروية من الكون مركزها الأرض وبسمك معين يتناسب مع حجم تلك الشريحة ، وبالتالى متناسب مع مربع المسافة اليها . وعلى ذلك فرغم ان جاذبية كل كسرة من المادة لا تؤثر فينا الا تأثيرا واهنا ، فانه يوجد قدر من المادة يكفى لمعادلة هذا الضعف .

وهذه مصادفة مثيرة ، تشجعنا على ان نفترض انه حين يبدأ جسم فى الدوران فانها تبث اضطرابات جاذبية فى أعماق الفضاء ، بما يجعل كل المجرات فى الكون تتحرك وتتفاعل متآزرة لتنتج القوة الطاردة التى نلاحظها . ولكن هذا التصور المبسط لن ينجح للأسف ، فرد الفعل على الأجسام الدوارة يجب أن يكون لحظيا ، ولكن النظرية النسبية ترفض اى تأثير يتجاوز فى سرعته سرعة الضوء ، وحتى عند سرعة الضوء ، فان ملايين او بلايين من السنوات يجب أن تنقضى قبل ان يظهر اثر المجرات السحيقة فى الفضاء على الأرض . فاى ميكانزم مبنى على التأثير المباشر يجب ان يتضمن فكرة ردود افعال تعمل فى زمن معكوس . ورغم محاولات وضع تصورات من هذا القبيل ، فلم يكن منها ما هو مقبول .

ويحاول اغلب أنصار مبدأ ماخ اليوم ان ان يضمنوه فى علم الفلك ليس بمفهوم الاثارة ورد الفعل ، ولكن كجزء من الشروط الحدودية الجاذبية للكون ، بمعنى أنه تعبير عن تنظيم المجال التجاذبى للكون بأكمله . وقد حاول أينشتين ، وهو الذى كان شغوفا بمبدأ ماخ كما قدمنا ، ان يضمنه بهذه الطريقة فى نظريته ، وبعد عقود من المحاولات ، وصل النسبويون (المهتمون بنظرية النسبية) الى نتيجة مفادها ان المبدأ لن

ومن الممكن قياس تأثيرات مشابهة في الوقت الحاضر . فقد اقترح ويليام فيربانك William Fairbank منذ مدة تجربة تجرى في الفضاء على جيروسكوب يدور حول الأرض . وحساب مثل ذلك الجر الذي يسببه دوران كوكبنا . فطبقا لنيوتن ، فالجيروسكوب يجب ان يشير الى موضع ثابت بالنسبة للنجوم البعيدة . ولكن طبقا لأينشتين فان دوران الأرض يترك أثره المماثل لالتواء في مجالها الجذبي . وسوف يصل لأجواز الفضاء ويجذب الجيروسكوب معها في اتجاه الدوران . هذه التجربة قد تجرى على متن مكوك الفضاء « شاتل Shuttle » في عام ١٩٩٠ . ولكن مهما كانت نتيجة تأثير النسبية التي ستتمخض عنها ، فانها لن تثبت صحة مبدأ ماخ .

ويظل مبدأ ماخ محيرا ، ومثيرا للتفكير . وتكمن اثارته في ترجيحه للكون في وحدة واحدة ، واعطائه لأجزاء من المادة لم يكن يحسب لها خطر دورا جامعا على المستوى الكوني . ومن الصعب تصور كيف يمكن التحقق منه عن طريق المشاهدة . ولكن من جهة أخرى يمكن اثبات خطئه لو حدث واكتشف أن الكون يدور ككل واحد (أي بالنسبة لاطار الاسناد الذي تختفي فيه القوة الطاردة) . وسيظهر ذلك في الخلفية الاشعاعية للكون . والتي تخلفت عن الانفجار العظيم الذي تولد عنه الكون . هذا الاشعاع الذي يتخلل الكون يحمل بصمة كافة الحركات الكبرى . وسيظهر دوران الكون على صورة تغيرات بما في ذلك درجة حرارة هذا الاشعاع في مناطق السماء المختلفة . وتبين المشاهدات أن الاشعاع منتظم بدرجة تدعو للدهشة . ومن الممكن ان نضع حدا أعلى شديد الصرامة على ما يسمح له من دوران للكون . فقد اتضح أنه لو حدث وكان الكون دوارا ، فلن يكون قد دار سوى عدة درجات قليلة منذ منشئه .

وبالنسبة لرافضي مبدأ ماخ ، فان هذه المشاهدات تمثل لهم لغزا . فليس هناك من سبب واضح لماذا يكون معدل دوران الكون صفرا . وبعبارة أخرى ، لو كان الدوران مطلقا ، فانها تكون مجرد صدفة ، صدفة فلكية ، أن اطار الاسناد الذي تختفي فيه القوى الطاردة هو بالضبط مساو لاطار الاسناد المحدد بالمجرات البعيدة . مثل هذه المصادفة قد تعرض لها العلماء ، كما تعرضوا لصدف أخرى في الفلك ، فيما يسمى

بالنظرية التضخمية inflationery theory المرتبطة بنشأة الكون من الانفجار العظيم .

وقبل أن نتناول موضوع التضخم الفلكي في مضمار الفيزياء الحديثة ومدى فهمنا للزمن والمكان ، فانه يجب أولا أخذ صورة عن الكون التقليدي كما ترسمه النسبية العامة . وحتى لا يشعر أحد القراء بأن فهمه لمفاهيم النسبية لن يكون على المستوى الذي يؤهله لاستيعابها ، فسنعرض رواية لأحدنا يبين فيها كيف تمكن من هذه المفاهيم .

اعتراف من نسبوي

هناك أمر مثير بالنسبة للسير آرثر ادنجتون ، والذي قاد فريق البحث في موضوع النسبية في العشرينات والثلاثينيات . فقد سئل يوما ما أن يعلق على الاشاعة القائلة بأن ثلاثة فقط على مستوى العالم يفهمونها ، وكان ذلك يشير ضمنيا له ولأينشتين . فقد قال بعد تدبر : « ترى من هو الثالث ؟ » .

ان الشهرة المفزعة للنسبية كثيرا ما تثير التعليقات ، ومن الشائع أن نظرية يضعها عبقري مثل آينشتين ، يجب أن تكون خارج مقدرة الانسان العادي في فهمها . على أن هذه النظرية تدرس بصورة روتينية اليوم في الجامعات ، كما تحتوي المكتبات على كتب على مستوى الطلاب عنها . فاما أن طلابنا أكثر ذكاء مما نتوقع ، أو أن النظرية ليست مفزعة بالقدر الشائع عنها . ومع ذلك ، فهناك أناس بالفعل يجدون صعوبة في فهم أفكارها ، أو في تصديق أن الكون يتفق مع بعض مما تتنبأ به .

وقد بدأ صراعي لفهم النظرية عام ١٩٦٠ ، حين كنت في الرابعة عشرة . كان العالم الرياضي الشهير سير هيرمان بوندي Sir Herman Bondi قد دعي لالقاء محاضرة على الطلاب وأولياء أمورهم في مدرستي بلندن ، وكان الموضوع هو « النظرية النسبية » . وكانت بلاغة عرض بوندي مثيرة للالهام بشكل عجيب . ورغم ذلك فقد ضعت الى درجة اليأس في التفاصيل الفنية . فالرسومات التوضيحية التي عرضها بوندي عن الزمن

والمكان والمليئة بالاشارات الضـوئية المتحركة جيئة وذهابا تركتنى فى بلبلة شديدة .

وبعـد ذلك بفترة وجيزة اكتشفت كتابا كتبـه أينشتين نفسـه ، عنوانه « معنى النسبية » . ويا للأسف . فمع عبقريته البالغة كان كاتبا غير موفق . ووجدت الكتاب بلا جدوى . الا أن الفكرة الجوهرية كانت قد غرست فى نفسى . ذلك أن سرعة الضـوء ثابتة بصرف النظر عمن يقيسـها ، أو كيفية تحرك مصدر الضوء . مثل هذه النتيجة الواضحة بشكل ملغز تتحدى القدرة على التخيل ، ولكنى ، بسبب صغرى آنذاك ، كنت شغوفا بالمفاهيم الغريبة ، ومن ثم تقبلت الفكرة .

الاعتقاد فى المستحيل :

وخلال دراستى أخذت فى تعلم بعض ما تنبأت به النسبية الخاصة، تمدد الزمن وانكماش الطول واستحالة تجاوز سرعة الضوء ، وزيادة الكتلة مع زيادة السرعة ، والمعادلة الشهيرة $ط = ك \times ع^{2}$ ، والتى تربط بين الطاقة والكتلة . كل هـذا أخـذته قضايا مسلما بها ، ولكن مغزاها ظل لغزا محيرا .

وفى الجامعة التحقت بحلقة دراسية خاصة للنسبية . وكان على أن أفكر فى تمدد الزمن بالتفصيل .

لم يكن مجرد أمر مثير للتعجب أن يسافر شخص فى رحلة فضائية ثم يعود ليجـد توءمه أكبر منه عمـرا بعشر سنوات ، بل بدا ذلك هو السخف بعينه . كيف يمكن لنفس الأشياء أن تسير بمعدلات مختلفة ؟ كان ذلك هو تساؤل لنفسى ، وقد تمثلت الموقف على أن السرعة تشوه من عمل الساعات بصورة ما ، وأن تمدد الزمن ما هو الا صورة الخداع ، تأثير ظاهرى أكثر منه حقيقيا . وظل التساؤل ، أى من التوءمين هو الذى على حق ، وأيهما ضحية ذلك الخداع ؟ (٩) .

وعند هذه النقطة اكتشفت العقبة فى تقدمى . كانت المشكلة كامنة فى اصرارى على ارجاع كل شىء الى الفطرة البديهية والمفاهيم المسبقة عن

الحقيقة . وهذا ليس بالأمر الحرى بالنجاح . فى البداية بدا ذلك نوعا من الفشل المحبط . فاعترف أننى لم أستطع أن أتصـور الزمن يجرى بمعدلات مختلفة ، وكان ذلك بالنسبة لى بسبب عـدم القدرة على فهم النظرية . وبالتأكيد لقد تعلمت كيف أتعامل مع الصيغ الرياضية وأن أحسب الفرق بين الأزمنة ، كان بامكانى أن أحسب ما يحدث حقيقة ، ولكن كان الباقى على أن أعرف لماذا يحدث .

وهنا أدركت سبب حيرتى . فطالما كنت مستطيعا أن أتخيل تمدد الزمن وغير ذلك من التأثيرات ، وأن أجرى الحسابات المتعلقة بها ، فهذا كل ما هو مطلوب . فطالما كان بامكانى أن أرجع كل شىء لمشاهد معين ، وأسأل ماذا يمكن له رؤيته وقياسه به بالفعل ، فان هذه تكون الحقيقة . هذا المنهج البراجماتى (النفعى) الذى يهدف الى مجرد رصد ما يشاهد ، دون محاولة وضع تصـور شـامل للأمور فى منظور مجرد ، يسمى « الوضعية positivism » (انظر الفصل الأول) ، ولقد وجدته ذا عون كبير على استيعاب القدر الكبير من الفيزياء الحديثة .

وبتخطى عقبة الزمن ، كانت الصعوبة التالية هى استيعاب مفهوم متصل الزمن والفضاء (الزمكان) رباعى الأبعاد . لقد قرأت كثيرا أن الزمن بعد رابع ، ولكن هـذه المقولة الجافة لم تكن تعنى بالنسبة لى شيئا ، بل لقد بدت لى خطأ بينا . فأكثر احاسيسى بالعالم فطرية تنبئنى أن المكان (الفضاء) هو المكان ، وأن الزمن هو الزمن . فهما من الناحية الوصفية متمايزان بما لا يسمح لى تصور الزمن بعدا رابعا مع المكان . فمن البداية ، المكان هو شىء يمكننى أن أراه وأن ألمسه ، بينما لا أحس باللحظة من الزمن الا عندما يحين أوانها . والأكثر من ذلك ، فانه بامكانى التجول فى المكان ، وليس فى الزمن .

المشكلة تكمن فى أننى أخذت عبارة البعد الرابع بمفهوم حرفى . فالنظرية لا تدعى أن الزمن هو بالفعل بعد رابع مع المكان ، فهى لا تنكر تمايزهما ، ولكنها تقول ان الزمن والمكان مترابطان فى خواصهما بدرجة تجعل من المنطقى أن تصفهما معا فى لغة من الأبعاد الأربعة . وما يتمم

عن تمازجهما ، وهو الزمكان ، يتولد عنه الخواص المثيرة التى تعرضنا لها فى مؤلفنا هذا . منها مثلا أن المسافة رباعية الأبعاد بين حادثتين على مسار تبطة ضوئية هى صفر ، مهما كان التباعد المكانى بينهما .

حينما وصلت لهذه النقطة تملكتنى حيرة لا توصف ، كيف يتصور الانسان مكانين مختلفين واقعا والبعد بينهما صفرا ؟ وما ان ادركت ان الزمن ليس بعدا للمكان ، تلاشت الحيرة . فكما بينا ، يطرح البعد الزمنى من البعد المكانى فى الصياغة الرياضية للزمكان ، ويمكن اذن ان يحدث التعادل بينهما بحيث يلاشى كل منهما الآخر . فالزمن متميز عن المكان فى الصياغة الرياضية للزمكان باشارته السالبة . أما لو تكلمنا عن المكان مجردا فمن البديهى أن المسافة المكانية ستكون موجودة .

تصور ما لا يمكن رؤيته

جميل الى الآن ، فالالغاز والمحيرات المتعلقة بالنسبية الخاصة بدات فى الشحوب . ثم أتت أعاجيب النسبية العامة . كنت أعلم أنها نظرية للجاذبية ، وأنها تعالج المجال التجاذبى فى صياغة من تقوس الفضاء . وفشلت كافة محاولاتى فى تصور فضاء مقوس . فليس من مشكلة فى تصور كتلة مطاطية تتقوس ، فهى قبل كل شئ مكونة من مادة . ولكن الفضاء هو الهواء ، فكيف يتقوس « اللاشئ » ؟ . وبالتحديد ، أين يكون التقوس ؟ ان الكتلة المطاطية توجد فى الفضاء ، ولكن الفضاء ليس موجودا فى شئ !

فى هذه المرحلة كونت انطباعا أن التقوس فى الفضاء يظهر نفسه بجعل مسارات الكواكب منحنية حول الشمس . فالأرض تتبع مسارا اهليلجيا حول الشمس ليس بسبب قوة الجاذبية ، ولكن لأن الشمس تقوس الفضاء حولها ، والأرض تتبع أقصر بعد فى هذا الفضاء المقوس . ولم يكن ذلك مستغربا بالنسبة لى ، وقد علمت أن الضوء ينحنى بالفعل بفعل الشمس . الأمر اذن غاية فى البساطة ، الفضاء المقوس يعنى فقط مسارات ملتوية .

ولكن لغزا بدا فى الأفق . فطبقا للتصور الذى وضعته ، فان ذلك يعنى أن الشمس قد طوت الفضاء حولها ، بما يعزلها مع المجموعة الشمسية عن بقية الكون ، ومن البديهى أن هذا هراء .

وكانت الغلطة غاية فى الدقة . فالتقوس المقول به ليس فى المكان، ولكن فى الزمكان ، والفرق بين التعبيرين جوهرى . فمن وجهة نظر الزمكان ، فمسار الأرض حول الشمس ليس منغلقا ، بل هو لولبى (راجع الشكل ١٧) ، وذلك حين تأخذ البعد الزمنى فى الاعتبار . وفى هذه الحالة ، يترجم البعد الزمنى الى مسافة زمكانية بالضرب فى سرعة الضوء ، وهو مقدار غاية فى الكبر بالمقاييس الأرضية . مما يترتب عليه أن يمط اللولب فى البعد الزمنى بصورة كبيرة ، الأمر الذى يبين أن التقوس فى الزمكان بفعل الشمس ضحل للغاية . فتصورى الأول للمسارات كان صحيحا ، بشرط أن تدخل عنصر الزمن فيه .

واخيرا بدا لى أننى أتقدم فى فهم النسبية . الا أن المصاعب الجسيمة بدأت فى الظهور حين بدأت دراسة علم الكونيات . وكان المشهور عن آينشتين اطلاقه مفهوم « متغلق ولكن بلا حدود closed but unbound » وهذا يتحدى أكبر قدرات التصور . ولم أكن قد تعودت كلية فكرة تقوس الزمكان فى لا شئ . والآن يتوقع منى ان أتصور أن الفضاء بأكمله مقوس على نفسه بحيث يتقابل مرة أخرى فى الناحية البعيدة منه .

ولم تفدنى هذه الصورة كثيرا . فبيان أن سطح الكرة متغلق على البعدين ولكن ليس لها حدود هو أمر سهل القبول ، ولكن أن تمد الصورة للأبعاد الثلاثة ليست بالسهولة التى تصورها ضارب المثل . فالسطح ذو البعدين يمكن أن يتقوس فى الأبعاد الثلاثة ، ولكن فى أى شئ تتقوس الأبعاد الثلاثة ؟ وهكذا ووجهت بنفس المشكلة القديمة .

وأخيرا أفادنى تذوقى للخيال العلمى على التغلب على هذه الصعاب . فقراءتك للخيال العلمى تعودك على تصور نفسك فى مكان الأبطال ، تنظر للعالم من خلال أعينهم ، وتشاركهم خبراتهم . حتى وأنت تقرأ عن المستحيل ، فأنت مستطيع تخيل ما يحدث . فلم يكن من الصعب على أن

اضع نفسي في رحلة الزمن التي تخيلها هـ . ج . ويلز ، حتى وان كنت أعلم ان القصة لا معنى لها من منظور الفيزياء ، فاذا كان سهلا على أن أتخيل السفر في الزمن ، فلماذا يستعصى على تصور الكون المنغلق ؟

وما زلت اتذكر نصيحتي على ألا أحاول تصور الحقيقة المطلقة ، ولا أن أكافح من أجل نظرة الهية علوية للكون . وبدلا من ذلك ، أكتفي بنظرة متواضعة لمسافر مسكين في الفضاء ، يحاول بشق النفس استكشاف الفضاء المغلق من حوله . ماذا تكون خبراته ؟ حسنا ، فبمقدوره السفر في نفس الاتجاه ، والعودة في النهاية الى نفس موضعه . هذه احدى الخواص الغريبة لكون آينشتين المنغلق على نفسه ، ولكنه غير محدود . فعلى الرغم من استمرار عدم قدرتي على تصور كيف يمكن للفضاء أن يكون على هذه الصورة ، فقد تقبلت هذه الخبرة للمسافر الفضائي . فهي مقبولة . ليس هناك ما يجافي المنطق في حدوثها . واذا كان للخبرات أن تندمج في تناسق معا ، مهما كانت غرابتها ، فمن الممكن اعتبار مجموعها معبرا عن الحقيقة .

وطبقت نفس الفلسفة على المشكلة القائمة ، الكون المتمدد . فمثل أى شخص ، لم يمكنني استيعاب فكرة كيف يتمدد الكون ، حيث بدا لي أنه لا يوجد شيء يتمدد فيه . ولكن ما زال بمقدوري أن أتصور معنى مشاهدتي لتمدده من الداخل . تخيلت مراقبين في مكان ما بالمجرات السحيقة البعد ، يتفحصون السماء ، وكل واحد يرقب بقية المجرات تتباعد عنه . ومرة أخرى ، ليس من بأس في حدوث ذلك ، حتى ولو لم يكن بالامكان معرفة كيفية حدوثه .

أما أشد المشاكل الغازا فكانت فكرة الأفق . كنت أعلم أن المجرات البعيدة تزداد سرعة تباعدها بزيادة بعدها عنا ، وأن هناك حدا لا يمكن بعده رؤية أية مجرات . يسمى الأفق (سوف نتناول هذه الخصيصة الهامة في الفصل التالي) . فلمدة طويلة خلطت بين هذا المفهوم وفكرة حد الكون ، وكان تصوري أن عدم امكان رؤية مجرات بعد الأفق لأنه

لا توجد هناك أية مجرات ، لا شيء سوى الخواء اللامتناهي . ولكن في النهاية أدركت أن الكون لا حد له ، وأن أية اشارة له هو ضرب من الهراء .

ولكن هذا الخطل تلاشى لكي أقع في آخر . فقد قرأت أن تلك المجرات يستحيل رؤيتها لكونها تتراجع بسرعة أكبر من سرعة الضوء . وما زلت أتذكر وأنا جالس في مقصف بالكلية أتناقش في الأمر مع أحد الزملاء ، وقد قلت معترضا : «كيف يمكن لمجرة أن تتحرك بأسرع من الضوء؟» ، فرد قائلا : « آه ، ان حد سرعة الضوء قالت به النسبية الخاصة ، ولكننا في الفلك نتعامل مع النسبية العامة » . ولم يكن ذلك ليجديني شيئا ، حيث لم يكن أينا قد تمكن من النسبية العامة بعد .

حقيقة ، في الفلك تستخدم النسبية العامة ، ولكن ذلك لا يسمح بتجاوز سرعة الضوء . كان السبب في المعضلة هو أنه لم يكن بامكاني ادراك ذلك الا بالمفهوم الأرسطي ، فالمجرات بالنسبة لي تتحرك في الفضاء ، باعتباره شيئا ساكنا لا حراك به ، بالضبط كما تتحرك الأسماك في البحر الساكن . هذا التصور خاطيء تماما ، وقد استغرق الأمر طويلا الى أن أدركت أن التمدد في الكون لا يحدث بواسطة المجرات المتباعدة ، بل ان الفضاء ذاته هو المتمدد ، مما يجعل المسافات بين المجرات تتسع .

ولا أعتقد أني استوعبت فكرة الفضاء المتمدد تماما حتى قرأت عن نموذج ويليام دي سيتر Willinm de Sitter للكون ، والذي لا يحتوى على شيء خلاف كون متمدد خال تماما من أية مادة ! وبالطبع ظلت لدى صعوبة تخيل تمدد الفضاء ، ولكن بما أنه يمكن تخيل أن مراقبين سوف يريان بعضهما البعض في تباعد مستمر ، فلا بأس من تقبل الفكرة .

وبعملنا بهذه الصورة ، أصبحت مشكلة تجاوز سرعة الضوء بغير ذات موضوع . فالمجرات لا تتحرك حقيقة بالمرة ، ان الأمر ببساطة أنها محتواة في كون متمدد ، والانزياح الأحمر الشهير ليس كما قيل لنا مجرد ظاهرة دوبلر ، والتي تماثل تغير حدة الصفير لقطار مقبل قبل تجاوزه الرصيف وبعده . انه في الواقع بسبب أن الموجات الضوئية تستطيل

مع تمدد الفضاء . وتدريجيا قد تبلغ الاستطالة الى القدر الذى يجعل التردد يقل عن مجال الأشعة المرئية . وهذا هو الأفق . فالكون وراءه لا يزال موجودا ، ولكنه غير مرئى لنا .

بلبلة اللانهاية

ربما أعقد نقطة فى الموضوع بالنسبة لى هى الانفجار العظيم ، الذى منه تولد الكون . كانت الصورة الأولية لدى هى عن كمية غاية فى التركيز من مادة فى مكان ما من الفضاء ، لسبب ما ، وفى لحظة ما ، انفجرت ، مرسلة شظاياها فى كل مكان ، لتكون فى النهاية مجرات متباعدة . وأدرك الآن مدى خطأ هذا التصور . ولكن عذرى فى ذلك أن اول احتكاك لى بهذه النظرية كان قبل أن يتبلور مفهوم مفردة singularity الزمكان كما وضعها روجر بنروز Roger Penrose وستيفن هوكنج Stephen Hawking فى الستينات .

فى ذلك الوقت ، كان الدارسون للموضوع يؤكدون ان الكون يجد أصله فى مفردة فى الزمكان ، والتى هى نقطة يصل الزمكان فيها الى تقوس لانهائى ، وتتوقف عندها فعالية قوانين الفيزياء . ولم يكن من الممكن ، بحسب قولهم ، للمكان والزمن ، او اى تأثير فيزيائى ، ان يستمر فى المفردة . وعلى ذلك فمسألة ماذا كان قبل الانفجار العظيم لا محل لها . فليس هناك « قبل » للحظة الانفجار العظيم ، حيث ان الزمن بدأ بها . كما أنه ، ولنفس السبب ، من غير المجدى ، أو حتى المعقول ، التساؤل عن سبب حدوثه .

وبعد ذلك ، حاولت تصور المفردة بتخيل كل مادة منضغطة فى نقطة واحدة . بالطبع هذه الفكرة فى حد ذاتها تذهب بالعقل ، ولكنى استطعت تخيلها . ولكننى كنت حريصا على الا أقع فى خطأ تصور تلك النقطة محاطة بالفضاء ، فأنا أعلم ان الفضاء يجب أن يكون قد انضغط الى تلك النقطة أيضا . هذه الصورة ناجحة بالنسبة لنموذج الكون المتناهى المنغلق الذى وضعه آينشتين ، حيث اننا جميعا يمكن أن نتخيل

الشىء المتناهى ينكمش الى لا شىء . ولكن تظل هناك مشكلة ظاهرة ، لو كان الكون لامتناهيا فى المكان . فاذا كانت المفردة مجرد نقطة ، فكيف تتحول الى ما هو لامتناه ؟

أعتقد أن فكرة اللانهاية تبلبل الكثيرين منا ، ولم أتمكن على الاطلاق من تكوين تصور بديهى لهذا المفهوم . والمشكلة معقدة هنا لأن هناك بالفعل شيئين لانهائيين يتصارعان : لانهائية الحجم المكانى ، ولانهائية الانكماش . فمهما ضغطت الفضاء اللانهائى ، فسيظل لانهائيا . من جهة أخرى ، فأية منطقة منتهية فى نطاق الفضاء اللانهائى ، مهما بلغ اتساعها ، يمكن أن تنضغط الى نقطة وحيدة فى لحظة الانفجار العظيم . ليس هناك تعارض بين اللانهائيتين ، طالما أنك تحدد عن اى شىء تتحدث .

حسنا ، يمكننى أن أقول كل هذا بالألفاظ ، وأن أصوغه فى معادلات رياضية ، ولكنى أعترف أننى الى اليوم لا يمكننى تصوره .

والشىء الذى أثار انتباه العالم للنسبية العامة ، وأسر خيالى ، هو بلا شك الثقوب السوداء . هذه الأشياء الغريبة لها عدة خواص عجيبة تستنفد قدرة المرء على التخيل لأقصى مداها . حين سمعت عن الثقوب السوداء لأول مرة ، كان ذلك فى أواخر الستينات ، كان بامكانى قبول فكرة انهيار نجم تحت تأثير جاذبيته ، وانه يمكن أن يحبس الضوء بداخله ، فيبدو كثقب أسود . أما ما لم أكن أفهمه فهو ما الذى يجرى لمادة النجم . أين تذهب ؟ لقد بينت بعض النظريات أن مفردة تتكون بداخله ، ولكنها لم تتطلب أن المادة يجب أن تقابل المفردة . فاذا ما تفادت المادة المفردة ، فانها لا تستطيع مغادرة الثقب ، حيث انه ما من شىء يمكن أن يفلت منه . وبدا الموقف لى محتويا على تعارض .

الاجابة التى قدمت لى هى أن المادة تغادر الى كون آخر . وبدا ذلك مثيرا ومهولا . ولكن ما معناه بالضبط ؟ اين يقع ذلك الكون الآخر ؟ لقد استوعبت افكار الكون الممتد والكون المنغلق . ولكن فكرة تعدد الأكوان أدارت رأسى . انها لعمرى مسألة عويصة . ولجأت مرة ثانية الى

استراتيجيتي الا أحاول اكتساب نظرة الهية علوية ، وأتصور تجاوز مثل هذين الكونين ، وتعاملت فقط مع ما يمكن من ناحيـة المبدأ أن يشاهد من خلالهما ٠

لقد قرأت ذات مرة قصة بعنوان « الباب الأخضر » ، فيها عبر شخص بابا يؤدى به الى حديقة لغناء عادلة ، تماثل فكرتنا عن الفردوس ٠ وحين غادرها لم يجد الباب مرة أخرى ، وظل بقية حياته يبحث عنه ٠ وذات يوم وجد بابا أخضر فعبره ، فلقى حتفه ٠ فالجنة التى فى القصة لا توجد فى المكان الذى نالفه ، فالباب كان يؤدى لفضاء آخر ٠ واستخلصت ان الثقب الأسود لابد أن يكون شيئا من هذا القبيل ٠ لقد استطعت تخيل تجربة الرجل مع الباب ، فلماذا لا أستطيعها مع الثقب الأسود ؟ فيمكن لك أن تمر من خلاله ثم تجد نفسك فى مكان خلاف أى مكان فى فضائنا ٠ لم يكن مهما لى أن أعرف أين هو ، كل ما يهمنى ان تجربة المشاهد كانت منطقية ومترابطة ٠

بعد ان قصصت هذه القصة ، على أن أحذر القارئ ، وكما سنرى فى الفصل التاسع ، أنك لا يمكنك المرور خلال الثقب الأسود بهذا الشكل حقيقة ٠ فالوضع الأكثر احتمالا أن المادة الساقطة فيه ستقابل المفردة ، ولو أن ذلك لم يثبت للآن بصفة قاطعة ٠

وأنا اليوم متعود تماما على التعامل مع العالم العجيب للنسبية ٠ فأفكار تشوه الزمن والتواء الفضاء وتعدد الأكوان هى من الأدوات اليومية للتعامل مع الفيزياء النظرية ٠ على أن تعودى عليها قد تولد نتيجـة التكرار ، وليس لكونى قد حزت مقدرة غير عادية على الادراك ٠ فأنا أعتقد أن الحقيقة التى تظهر لنا الفيزياء الحـديثة غريبة على العقل البشرى ، وتتحدى أية مقدرة على التصور ٠ فالصور الذهنية المتولدة عن ألفاظ مثل « الفضاء المنحنى » و « المفردة » هى نماذج غير مناسبة ، قيمتها فقط فى تثبيت الفكرة فى ذهنك ، وليس اخبارك كيف يكون العالم الواقعى بالضبط ٠

وفى هذا تشابه مع عالم الاقتصـاد الدولى ٠ فنحن نسمع عن ميزانية الولايات المتحدة ، وأن العجز فيهما كذا بليونا من الدولارات ، ونتصور أننا نفهم ما يعنيه ذلك ٠ ولكن ليس هنا من يمكنه تصور قدر مهول من الأموال بهذه الدرجة فى الحياة اليومية ٠ فالألفاظ لها شىء من أشياء المعانى ، تعطينا شيئا ما نرتكز عليه بينما نمر الى النقطة التالية فى المناقشة ، ولكنها لا تنقل شيئا ذا معنى واقعى بالمرة ٠ فيبدو أن الفكرة اذا ما تكررت قدرا كافيا فانها تثبت فى الذهن لدرجة الاحساس بأنها مفهومة ، مهما كانت درجة غرابتها على المنطق البديهى ٠

ان مقدرة العقل البشرية على تقبل ما لا يتفق مع الواقع عن طريق الخيال ليعطى حرية هائلة ٠ فالنظرية النسبية ما زالت فى بعض تفاصيلها غريبة بالنسبة لى ، كبعض خواص الاشعاع الجذبى ، ومع ذلك فالتدريب على التخلص من الحاجة للصـور المبسطة أمكننى من التعامل مع هذه الموضوعات دون وجل ٠

وباستخدام الرياضيات كمرشد يعول عليه ، يمكننى استكشاف مناطق تتجاوز حدود الخيال للوصول الى اجابات شافية عن أشياء يمكن مشاهدتها ٠

ان الزعم الضمنى فى كون ادنجتون الشخص الوحيد بعد آينشتين القادر على فهم النسبية العامة لا يعنى فى رأيى أنه وآينشتين وحدهما القادران على تصور المفاهيم الثورية الجديدة مثل الزمكان المنحنى ، ولكن ربما يكونا بالفعل من أوائل الفيزيائيين الذين استوعبوا أنه فى هذا الموضوع لا يأتى الفهم الصحيح الا بهجر الحاجة للتصور ٠ هذا هو الأمر الذى قد يكون مساعدا على فهم ما تخبرنا به الفلكيات النسبوية فى شرحها لما نشاهد من تصرفات فى الكون ٠

هوامش الفصل الثالث

(١) خلاف النظرية النسبية لاينشتين . فالمقصود هو النسبية بين السرعات ، وليس النسبة لسرعة الضوء ــ (المترجم) •

(٢) نذكر النجوم وليس المجرات ، حيث لم تكن المجرات خلاف درب التبانة قد عرفت بعد ــ (المترجم) •

(٣) من الطريف أن نذكر أن ماخ قد رفض هذه النظرية عند نشرها عام ١٩١٥ ، وانه قبل وفاته في العام التالي (عن ثمانية وسبعين عاما) كان يزمع تأليف كتاب للرد عليها ــ (المترجم) •

(٤) يفترض أن يكون القطار طويلا بصورة خيالية حتى يظهر الفرق بين ما يراه راكب القطار والشاهد على الرصيف . فآثار النسبية لا تظهر الا مع الأبعاد المحسوسة بالنسبة لسرعة الضوء . لهذا السبب لا نلحظها في حياتنا العادية ــ (المترجم) •

(٥) مرة أخرى نكرر أن هذا يتطلب أن يكون الطول محسوسا بالنسبة لسرعة الضوء ، أي عدة آلاف من الكيلومترات على الاقل ــ (المترجم) •

(٦) ومن ذلك قياس الابعاد الفلكية بالسنة الضوئية . وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة كاملة ــ (المترجم) •

(٧) يطلق اينشتين على هذا المبدأ « مبدأ التعادلية « Principle of equivalence » ــ (المترجم) •

(٨) تسمى أيضا « الهندسة الريمانية » ــ (المترجم) •

(٩) يضرب الدكتور مصطفى مشرفة ــ رحمه الله مثلا طريفا لتقريب تمدد الزمن للأذهان : تخيل أنك تنظر لساعة عند الثانية عشرة بعد الظهر ، لو أنك انطلقت في هذه اللحظة بسرعة الضوء متباعدا عنها ، فانك لن ترى باستمرار سوى الشعاع القادم منها المعبر عن الساعة الثانية عشرة ، وسيبدو لك الأمر وكأن الزمن توقف عند هذه اللحظة • وبالمناسبة فالدكتور مشرفة هو عالم مصري في الفيزياء ، معاصر لاينشتين وكان حجة في النظرية النسبية ، وقد توفي في اوائل الخمسينات ــ (المترجم) •

الفصل الرابع

الكون على رحابته

ان واجب الفلكي astronomer هو أن يدرس الأشياء الموجودة في الكون • ويتضمن هذا الشمس والكواكب ، والنجوم على مختلف أنواعها ، والمجرات والمواد ما بين النجوم • وفي المقابل ، فالكوني cosmologist (عالم الكونيات) أقل اهتماما بالتأثيث التفصيلي للكون ، منه بالهيكل العام له • فعلم الكونيات يتعامل مع كيفية نشأة الكون ككل ، وكيفية نهايته • ويعني الكوني بكلمة « الكون » كل شيء ، الفضاء الفيزيقي بأكمله ، الزمن والمادة • ويختلف علم الكونيات عن العلوم الأخرى في أن موضوعه أمر وحيد ، وهو الكون • وان كانوا أحيانا يشيرون الى أكوان أخرى • فهم في الواقع يشيرون الى تجريدات رياضية قد لا تحمل ، مثل كون جوديل الدوار ، الا القليل من العلاقة بالعالم الواقعي •

ويعتمد الكونيون على أعمال الفلكيين لرسم تصورهم عن الكون • كما أنهم أيضا يستخدمون قوانين الفيزياء لنمذجة التغيرات التي تحدث مع تطور الكون ، وفي محاولة التنبؤ بالمصير النهائي له • ويميل الكونيون اليوم الى تأمل الظروف الأولية لنشأة الكون ، بالاضافة الى القوانين ذاتها • وقد بدأ علم الكونيات في العشرينيات من هذا القرن ، حين اكتشف ادوين هابل Edwin Hubble ان الكون يتمدد ،وهو الاكتشاف الذي تماشى مع توقعات النسبية العامة ، توقع أجهد آينشتين ذاته ، والذي كان يعتقد ان الكون في حالة سكون ، في التحايل عليه في نظريته • وقد أدى المربع

من اكتشاف هابل مع النسبية العامة الى نتيجة عظيمة ، مفادها أن الكون غير سرمدى النشأة ، بل لابد أن يكون قد خلق خلقا فجائيا منذ عدة بلايين من السنين ، فى انفجار مهول نسميه اليوم الانفجار العظيم . وأكثر جهود الأبحاث اليوم ، كما ذكرنا من قبل ، موجهة تجاه فهم المراحل الأولى التى أعقبت الانفجار العظيم ، ومحاولة ربط الخصائص المشاهدة حاليا بالعمليات الفيزيائية التى تمت فى هذه المراحل (١) .

التمدد دون مركز

لم يكن مع ذلك لعلم الكونيات أن يوجد كموضوع محدد لو لم يكن بامكاننا الحديث عن الكون كوحدة واحدة . ويعتمد هذا بدوره على حقيقة هامة مبنية على المشاهدة ، فبمقياس كبير ، تتوزع الطاقة والمادة بانتظام متميز للدهشة خلال الكون . و « المقياس الكبير » هنا يعنى حجوما أكبر من حجم كوكبة من المجرات ، أى ما يوازى تقريبا مائة مليون سنة ضوئية . هذا الانتظام يعنى ضمنيا أن الكون متشابه بالنسبة لأية مجرة خلاف مجرتنا ، فليست هناك أية صورة للتمييز لموقعنا فى الكون . والأكثر من ذلك ، فهذا الانتظام ثابت مع الزمن ، وبالتالى فمجرتنا تشارك بقية المجرات فى مجرى حياتها .

ما علاقة هذا بمفهوم الكون المتمدد ؟ بل كيف فى الواقع ندرك أن الكون متمدد ؟ الشاهد المباشر يأتى من تفحصنا للضوء الذى نستقبله من المجرات البعيدة ، فقد وجد هابل أن الضوء يميل بانتظام الى التزحزح تجاه اللون الأحمر من الطيف . ويعنى هذا أن الموجات الضوئية تتمدد بما يشبه نفس ما يحدث للذبذبات على الأرض . فـ « الانزياح الأحمر » يعنى للفيزيقى تحركا لمصدر الضوء بعيدا عن المشاهد . هذا ما فسر به هابل الظاهرة . فقد استخلص أن المجرات تفر بعيدا عنا بسرعة فائقة . وكما رأينا ، لقد توافق ذلك مع المتطلبات الأساسية لمعادلات النسبية العامة .

ويطلق على المجرات أحيانا اللبنات الأساسية للكون . وتباعدها عنا هو الذى يحدد التمدد الكونى . ففى داخل المجرة ، لا يوجد تمدد . ومجرتنا ، درب اللبانة (أو التبانة) (٢) Milky way تتكون من مائة بليون من النجوم موزعة على قرص مسطح ، يدور ببطء حول مركزها . وهذه المجرة تنتمى الى نوع يسمى المجرات الحلزونية ، أو القرصية ، بسبب شكلها . وهناك أشكال أخرى للمجرات ، ولكنها لا تعنى الكونيين كثيرا .

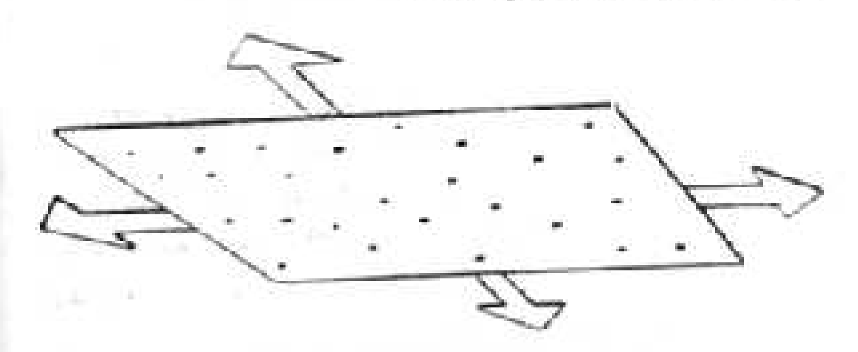
وهناك ميل للمجرات للتجمع فى كوكبات clusters (بأعداد تتراوح بين عدد قليل الى آلاف المجرات) ، متماسكة بفعل التجاذب فيما بينها ، وهذه الظاهرة أكثر اثارة للكونيين . وحيث ان هذا التجمع يناهض التمدد الكونى ، فانه من الأدق أن نعتبر الكوكبات المجرية هى اللبنات الأساسية للكون .

وقد لاحظ هابل أن المجرات الأكثر خفوتا فى مرصده هى الأكثر احمرارا فى طيف ضوئها . وحيث ان الخفوت دليل على زيادة البعد ، فان ذلك يعنى أنه كلما زاد بعد المجرة زادت سرعة تباعدها . وقد أكدت الدراسات التالية صحة ذلك ، وأن السرعة تتناسب مع البعد ، بمعنى أن المجرة التى يبلغ بعدها عنا ضعف الأخرى ، تتباعد بسرعة ضعف سرعة الأخرى ، وهى علاقة تسمى «قانون هابل» . والرقم المحدد بالضبط لمدى سرعة التباعد عند مسافة معينة يعتبر من الأرقام الهامة فى علم الكونيات ، يطلق عليه «ثابت هابل» . ورغم أن قيمته الدقيقة لا يمكن معرفتها من خلال رصدنا المحدود ، فان أغلب الكونيين يقبلون رقما ٥٠ كيلو مترا فى الثانية لكل ميجابارسك (فرسخ نجمى) . البارسك Parsec يساوى ٣٫٢ سنة ضوئية ، وهذا يعنى أن مجرة تبعد عنا بمقدار ١٠ ميجابارسك تتباعد بسرعة ٥٠٠ كيلو متر فى الثانية .

فى البعد

هذه العلاقة البسيطة بين البعد وسرعة التباعد هى المضمون العميق لطبيعة التمدد الكونى . انها تعنى أن الكون يتمدد بنفس المعدل من كل

مكان . فبالنظر اليه من أية مجرة سيكون نمط الحركة هو نفسه بقدر كبير . فمن الخطأ أن نتصور أننا ، كما يتخيل كثير من الناس ، في مركز التمدد . فرغم أن المجرات تتباعد عنا ، فانها أيضا تتباعد عن بعضها البعض . وحيث ان الحركات تخضع لقانون هابل فالمجرات المرئية لأية مجرات أخرى تتباعد عنها بنفس الطريقة التي تتباعد عنا . ليس من مجرة في وضع متميز لتكون مركز التمدد .



شكل (٢٠) يمكن تصوير الكون المتمدد بقطعة مطاطية مسطحة تمط في كل الاتجاهات بقدر متساو . وهنا تمثل القطعة المطاطية الفراغ ، والنقاط عليها تمثل المجرات . وبينما يمط الفراغ ، تتباعد المسافات بين المجرات ، ولكن المجرات ذاتها لا تتحرك في الفراغ ، ولا تتباعد عن مركز مشترك .

ولو كان صعبا عليك أن تتصور ذلك ، فربما كان المفيد لك أن تتصور قطعة مسطحة مطاطية ، مغطاة بالبقع التي تمثل المجرات. تخيل أنها تمط في كل الاتجاهات (الشكل ٢٠) . تكون النتيجة أن كل بقعة تبتعد عن البقع الأخرى ، بالضبط كحالة المجرات في الكون المتمدد . والأكثر من ذلك فان هذا النظام سيخضع لقانون هابل ، كلما زادت المسافة بين بقعتين ، زادت سرعة التباعد بينهما .

ويمكن الاعتراض على ذلك بأن البقع تتباعد عن مركز معين ، وهو مركز القطعة المطاطية . لكن لو كانت القطعة من الكبر في المساحة بحيث لا يمكنك أن ترى حوافها ، فلن يكون لك وسيلة تعرف بها أى من البقع قريب من المركز وأيها بعيد عنه ، من مجرد مراقبة التباعد . ولو كانت القطعة لامتناهية ، فعلا لن يكون هناك معنى لفكرة الحواف أو المركز .

وفي الكون الواقعي . لا توجد أدنى اشارة لكون مجموعة من المجرات لها حافة في أى مكان ، ومن ثم لا يوجد سبب للحديث عن مركز للكون ، أو منطقة تتباعد عنها المجرات .

ومع ذلك ، فلا يملك المرء نفسه من التساؤل عن وجود حافة للكون في مكان ما ، ربما وراء قدرة مراقبنا . فبداية لانعلم يقينا أن المجرات تملأ الكون الى درجة اللانهاية . ولكن حتى لو كان الكون غير لانهائي ، بل شاسع في امتداده فقط ، فهناك تصور تكون فيه فكرة الحواف بدون معنى ، فباعتبار أن سرعة التباعد تزداد مع المسافة ، فانه عند حد معين ستتجاوز السرعة سرعة الضوء ، وكما بينا في الاعتراف الملحق بالفصل السابق ، ليس في ذلك اى خرق للنسبية . وأيضا التمثيل بقطعة المطاط مفيد هنا ، فعلى الرغم من كون كل بقعة تتحرك مع مط القطعة ، فانها تفعل ذلك فقط لأن القطعة تمط ، فليست للبقع أية حركة بالنسبة لمادة القطعة . وبنفس الطريقة ، من الأفضل تصور المسافات بين المجرات تمط ، جاعلة المجرات تتباعد ، عن تصور المجرات تتحرك في الفضاء . هذه المرونة للفضاء ، كخصيصة تنبع من النسبية العامة ، تسمح بأن تتباعد المجرات واقعا بأسرع من سرعة الضوء ، دون أن تمر مجرة عبر الأخرى بهذه السرعة ، وهو ما لا تسمح به النسبية . وعلى ذلك فالاحمرار الأحمر يحدث بسبب تطلب زمن أكبر لوصول الضوء الى الأرض ، فالفضاء البيني قد مط بعض الشئ ، ومطت معه الموجة الضوئية .

ومن الواضح اننا لا يمكننا أن نشاهد المجرات المتباعدة بأسرع من سرعة الضوء ، حيث ان اشعاعها يستحيل أن يصل الينا . ومن ثم فنحن غير قادرين على الرؤية بعد حد معين ، مهما بلغت قوة مراقبنا . والحد الذي لا يمكننا تجاوزه في الرؤية ، ولو من ناحية المبدأ ، يطلق عليه الأفق horizon . وكما الأفق على الأرض ، فهو لا يعني أنه لا شئ وراءه ، فقط عدم رؤية ما وراءه من موضعك مهما كان . ومن المؤكد أنه لا توجد حافة للكون على بعد مثل أفقنا ، وأية حافة بعده قد توجد من ناحية المبدأ خارج حدود رصدنا (على الأقل في هذه الحقبة) يمكننا تجاهلها ، لأنها غير ذات أهمية للكون المرئي .

شكل (٢١) من الممكن ان يكون الفراغ مغلقا محدود الحجم ، ولكن بدون حواف • ويمثل ذلك بسطح بالون مطاطي يمثل الفراغ ، وتمثل النقاط عليه المجرات ، كما في شكل ٢٠ • ويمثل تمدد الكون نفخ البالون - في الشكل السفلي يمثل الخط الذي مسار محيط بالكون •

ولكن هناك امكانية الا تكون هناك حواف من ناحية المبدأ • ان المعلمة الطاطلية المضروبة كمثل تشبه فضاء علماء الهندسة الاغريق ، في امتدادها اللانهائي • ولكن لو تخيلناها قد تكورت على شكل بالون ، فما زال بامكاننا تخيل البقع التي تمثل المجرات (او كوكباتها) • وان البالون يتمدد حاملا المجرات بعيدة عن بعضها البعض (الشكل ٢١) • هنا لا توجد حواف ، بالضبط كما لا توجد حواف للأرض • هذا النموذج للكون يوصف بأنه « مغلق » ، لأسباب واضحة • والنموذج البديل هو الكون الممتد بلا نهاية ، ويوصف بأنه « مفتوح » •

هل هناك أية دلالة تشير الى ان الكون مفتوح أو مغلق ؟ من ناحية المبدأ يمكننا الحكم عن ذلك باجراء بعض التجارب الهندسية • فلعلك تذكر ما قلناه من أن الهندسة غير المستوية تختلف عن الهندسة الاقليدية للأسطح المستوية • وحيث انه بامكاننا الحكم عن كروية الأرض برسم مثلث على سطحه ، فان قياس زوايا مثلث يتخيل رسمه في منطقة مائلة في الكون ، يمكننا من الحكم على كيفية انحناء الكون من ناحية المبدأ • مثل هذه الآثار قد بحث عنها (مثلا بعد المجرات في حجوم كروية بأنصاف اقطار متزايدة) ولكن آثارا اخرى طغت عليها •

ومع ذلك ، فهناك طريقة واعدة بدرجة أكبر ، وان كانت غير مباشرة ، لتحديد اذا ما كان الكون منغلقا أو مفتوحا • فوجود المادة هو ما يحدد تقوس الفضاء ، وكلما زادت المادة في الكون زاد أثر جاذبيتها في تقوس الفضاء بين المجرات • وهناك كثافة حرجة ، تساوي تقريبا ذرة هيدروجين في كل لتر من الفضاء (حوالي ١٠ $^{-٣٠}$ جراما لكل سنتيمتر مكعب) تمثل الحد بين انغلاق الكون وانفتاحه • فمادة بكثافة اكثر من هذا الحد ، طبقا للنسبية العامة في صورتها المعتادة ، تعني أن الكون منغلق •

وتشير المشاهدات ، ونعني بها عدد المجرات في حجم معين من الكون ، الى ان كثافة المادة أقل من الحد الحرج بدرجة ملموسة • ولكننا نعلم أيضا ، من طريقة تحرك المجرات في كوكبات ، وتحرك النجوم داخل المجرات ، (في الحالتين بصورة غير متأثرة بتمدد الكون) أنه توجد كمية كبيرة من المادة في الكون في صور غير مرئية لنا ، تمارس جذبا على تلك المجرات • ولسنا حاليا ، على أساس ما لدينا من مشاهدات ، في وضع يسمح لنا ان نجزم اذا كان الكون مغلقا أم مفتوحا ، ولكنه يقف حاليا عند الخط الفاصل • ومع ذلك ، فدراسات الظروف الأولية للكون توحي بأن الكون يجب ان يكون مغلقا ، على أسس نظرية ، كما سنرى في الفصل الخامس ، ويعطي النموذج التضخمي للانفجار العظيم ايحاء في نفس الاتجاه أيضا •

علينا أولا أن نعطي مزيدا من الشرح حول ما يعنيه مفهوم الانفجار العظيم في علم الكونيات . من المفهوم أنه اذا كانت المجرات تتباعد عن بعضها البعض ، فمعنى ذلك أنها كانت متقاربة . ومدا لهذا المنطق الى مداه ، يلوح للمرء أنه لابد أن كان هناك زمن كانت مادة الكون فيه منضغطة معا . ومن الأخطاء الشائعة في فهم الانفجار العظيم والكون المتمدد أن هذه المادة المنضغطة الأولية كانت موجودة في مكان ما من الخواء السابق على الكون ، وأن شظايا هذه الـ « البيضة الأولية » ، وقد تناثرت اثر الانفجار ، تتطاير الآن متباعدة عن مركز مشترك في الفضاء المحيط بها . فكما قدمنا ، فالتمدد يستحسن فهمه على أنه في الفضاء ذاته ، حاملا المجرات معه . وعلى ذلك فحين كانت كل مادة الكون متجمعة معا ، كان ذلك لأن الفضاء بين المجرات كان متقلصا (أو بالأحرى لم يتمدد بعد) . فالفضاء نفسه ، شأنه في ذلك شأن الزمن والمادة ، خلق في لحظة الانفجار العظيم ، فلم يكن هناك « خارج » حدث فيه الانفجار !

من قانون هابل يمكننا أن نستخلص معدل تمدد الكون ، ونحسب الى الخلف متى بدأ التمدد ، الزمن الذي كانت المادة فيه منضغطة في مكان واحد . ويخبرنا قانون هابل البسيط أن ذلك كان من عدة بلايين من السنوات ، ومع ذلك ، فهناك أمر دقيق يجب أخذه في الاعتبار . فالكون لا يتمدد على حريته ، ولكنه خاضع للجاذبية . ويستتبع ذلك أن معدل التمدد ينخفض بالتدريج . وعلى ذلك ، فقد كان الكون يتمدد بمعدل أسرع في البداية . وبأخذ ذلك في الحسبان يكون الانفجار العظيم قد حدث منذ عشرة بلايين من السنوات مضت .

ولانخفاض معدل تمدد الكون تأثير هام آخر ، فالمجرات التي تكون متباعدة بأسرع من سرعة الضوء ، ستنخفض سرعتها لتدخل دائرة الرؤية ، بما يعني أن الأفق الكوني يزداد اتساعا بمرور الوقت ، وأن المجرات التي نراها تزداد عددا حتى وهي تتباعد عنا .

واذا ما أخذنا صورة الكون المتمدد حرفيا ، وأعدنا الشريط للوراء بالقدر الكافي ، فان حجم الفضاء الحالي يكون قد انضغط للصفر في

البداية ، بمعنى أن الكون كان في حالة انضغاط لانهائي ، مع ضغط كل مادة الكون في نقطة واحدة ، ويطلق الكونيون على هذه النقطة « مفردة singularity » . وطبقا للنسبية العامة، فان هذه المفردة تمثل حدا للزمن والفضاء ، لا يمكن رد أي منهما لما وراءها ، فهي بذلك حافة للكون ، وان كانت حافة زمنية وليست مكانية . ولهذا السبب يعتبر الانفجار العظيم ممثلا لأصل العالم الفيزيقي بأكمله ، وليس كأصل للمادة فقط .

ويصبح التساؤل : ماذا حدث قبل الانفجار العظيم ؟ سؤالا بلا معنى، حيث لم يكن هناك « قبل » . ومثله « أين حدث ؟ » ، فلم يكن هناك مركز للكون أو حافة ، كما نعرفهما في حياتنا اليومية . فالانفجار لم يحدث في الفضاء ، بل هو المنشىء الدرامي له .

وهذه نقطة غاية في الأهمية ، نريد أن نزيدها ايضاحا ، حيث انها مصدر لبس كبير ، بالرجوع لمثال البالون . تخيل أن قطر البالون واصل التقلص ، وهو ما يمثل العودة للانفجار العظيم ، ومادة البالون تمثل الفضاء ذاته ، والبالون يزداد صغرا في الفضاء . ففي النهاية التي يصل فيها القطر للصفر ، فان مساحة سطح البالون تكون قد تلاشت ، ويكون الكون ، بفضائه وكل ما فيه ، ببساطة قد تلاشى في هذه النقطة . لقد كان الانفجار خلقا فجائيا للكون من العدم بمعناه الحرفي . لا فضاء ولا زمن ولا مادة .

الزمن والكون

يا لها من نتيجة عجيبة تلك التي وصلنا اليها ، الكون بازغ للوجود بهذه الصورة من اللاشيء !! . وهي نتيجة وصلنا اليها من خلال صورة مثالية ، فيها يؤخذ قانون هابل على أنه يطبق بكل دقة على كون متماثل الأرجاء تماما . والواقع أن الكون ليس بهذا التماثل ، فالمادة تتركز في مناطق دون الأخرى ، كالمجرات . والأكثر من ذلك ، فانه يبدو أن معدل التمدد ليس بنفس الدقة في كافة أجزاء الكون . وقد يبدو من الوهلة الأولى أن هذا الحيود عن المثالية يفسد استنتاجنا عن وجود مفردة تشكل

حدا لأنى الكون ، اذ قد نتصور أنه مع عدم التماثل لن تصل كافة أجزاء الكون بالضرورة الى نفس النقطة فى نفس الوقت حتى تتكون تلك المفردة. ولكن الواقع انه من السهل الثابت ان تكون المفردة شيئا لا مندوحة عنه حتى فى كون غير متماثل الأرجاء ، طالما أن تأثير الجاذبية يمارس قوته فى اتجاه التجاذب .

ذلك أن هذه المفردة قد شجعت بعض الكونيين على افتراض صورة من الجاذبية المضادة يمكن ان تتكون فى ظل الظروف الاستثنائية للانفجار العظيم تمنع تكونها . ومن التصورات المحتملة أنه قبل الانفجار العظيم كان الكون منكمشا بصورة ما ، ومع زيادة التقلص تحولت الجاذبية الى جاذبية مضادة جعلت الكون يرتد متمددا ، وهى المرحلة التى نشاهدها الآن .

ولكن هذا يزيل مشكلة فى مقابل خلق أخرى ، فلو ان الكون لم يخلق فى لحظة محددة من مفردة ، فان ذلك يعنى أنه سرمدى الوجود ، وهذا يستتبع أن العمليات الفيزيقية كانت نشطة منذ الأزل . ولكن المؤكد أن هذه العمليات محدودة الأثر وغير قابلة للاسترجاع . فالنجوم ، على سبيل المثال ، لا تضىء للأبد ، فمآلها الى استنفاد وقودها منهارة على نفسها ، ربما الى ثقب أسود . ومخزون المادة لتكوين نجوم جديدة محدود ، ومن ثم فلا يمكن أن تكون هذه العمليات اللاانعكاسية مستمرة الوجود منذ الأزل .

وقد يرد على ذلك بالقول ان مرحلة التحول الى التمدد تبعثر المادة تماما ، ثم تعيد تشكيلها ، ماحية كل أثر للمرحلة السابقة . ولكن هذا يعارض مبدأ جوهريا فى الفيزياء ، يسمى القانون الثانى للديناميكا الحرارية (الثيرموديناميكا) ، والذى يضع قيدا صارما على ما يمكن تحقيقه من عملية دورية . وعلى وجه الخصوص ، فهو يمنع ، كما سنرى بعد قليل ، أية عملية تعيد الكون كما كان بالضبط فى مرحلة سابقة . ولهذه الأسباب يميل أغلب الكونيين الى الاعتقاد بأن الكون ذو عمر

محدود ، وأن الانفجار العظيم يمثل بالفعل بداية خلقه من العدم . والنتيجة المترتبة على ذلك بالضرورة هى أنه بما أن للكون « ميلادا » فلابد وأن له « وفاة » .

هل الكون يموت ؟

ترتبط اجابة هذا السؤال ارتباطا وثيقا بعلم الديناميكا الحرارية ، وبفهمنا لطبيعة الزمن . ذلك أنه مهما كان اختلاف المشاهدين لطبيعة « الآن » ، فانه اذا كان للكون ميلاد فى لحظة ما ، وموت مرتقب فى لحظة أخرى ، فانه يكون لدينا مؤشر أساسى لسريان الزمن بين البدء والنهاية .

وقد بدأ مفهوم الموت المحتمل للكون على يد عالم الفيزياء الألمانى هيرمان فون هلمهولتز Hermann von Helmholtz ، فى عام ١٨٥٤ . فقد أعلن عن المصير المحتوم للكون ، على أساس من مبادىء علم وليد هو الديناميكا الحرارية ، وعلى وجه الخصوص القانون الثانى منه ، والذى ينادى بالنصر النهائى للفوضى والعشوائية على النظام . لقد تصور الكون وقد بدأ منضبطا تماما ، ثم أخذ فى الانزلاق التدريجى المحتوم نحو ما نطلق عليه « الموت الحرارى » ، حالة من الاتزان الحرارى بين كافة أرجاء الكون ، بعد أن استهلكت كافة صور الطاقة المفيدة ، وتحولت الى طاقة مشتتة ، مما يستحيل معه اجراء أى نشاط مفيد . هذا الانزلاق وحيد الاتجاه من النظام الى العشوائية يمثل اتجاها واحدا للزمن ، يميز بين الحاضر والماضى والمستقبل ، سهم مألوف لنا تماما فى حياتنا اليومية ، من حقيقة أن الأشياء يصيبها القدم ، المعادن تصدأ ، والناس تشيخ ، وهكذا . فهذا السهم ثابت على المستوى الكونى ، بادئا من الانفجار العظيم طبعا . الا أن هلمهولتز لم يكن يعلم شيئا عن هذا النموذج لبدء الكون حين صاغ نظريته .

وكمثال بسيط لاستحالة التحرك التلقائى من الفوضى للنظام ، تصور أوراق اللعب وقد خلطت بعد ترتيب وتصور استحالة عودتها لأصلها بمجرد الاستمرار فى عملية الخلط ، فزيادة الخلط تؤدى حتما

لزيادة العشوائية ، ولن تعيد الترتيب مرة أخرى • ولو أننا اطلعنا على شريط سينمائي مبين به لحظة الترتيب ، فسنعلم بالبديهية اذا كان سريانه صحيحا أو منعكسا ، بحسب ما اذا كانت لحظة الترتيب هي البداية أم النهاية •

أما اللقطات المتوالية للأوراق وهي غير مرتبة فلا تظهر لنا في أي اتجاه يتحرك الشريط • ونستخلص من ذلك أنه اذا كان بامكاننا تحديد في أي اتجاه يتحرك الشريط ، فان سهم الزمن يكون فعالا ، أما لو تعذر علينا ذلك ، وبدت العملية منطقية في أي من الاتجاهين ، فانه لن يكون للزمن معنى ، أو بمفهوم معين ، يكون الزمن قد توقف ،

ومن السهل أن نعطي وصفا كميا لدرجة العشوائية في النظم الفيزيقيـة • وهو ما يطلق عليه « الانتروبيـا » ، وفي النظم المغلقة ، لا يمكن لها أن تقل • وشرط كون النظام مغلقا هام للغاية • ففي النظم المفتوحة ، يمكن للانتروبيا أن تقل ، ولكن على حساب زيادتها (زيادة العشوائية) في نظام آخر • خذ مثلا تكون البلورات • فعملية التبلور ينتج عنها فقد حرارى يتشتت في الكون ، مزيدا من الانتروبيا فيه •

وكان أول بحث في سهم الزمن على يد لودفيج بولتزمان **Ludwig Boltzmann** ، والذى درس السلوك الاحصائي لأعداد الجزيئات الكثيرة • وتبين معادلته من أول نظرة أن الانتروبيا في صندوق مملوء بالغاز تزداد باطراد لو تركت جزيئات الغاز تنتشر في عشوائية • بمعنى أن العشوائية تثير مزيدا من العشوائية بين جزيئات الغاز • ولكن هذا يثير تناقضا على الفور ، فقوانين الحركة المطبقة على الجزيئات (قوانين نيوتن) مبنية على الانضباط ، فهي متماثلة بالنسبة للزمن ، فمن ناحية المبدأ يمكن عكس سهم الزمن (تخيل حركة كرات البلياردو) دون اخلال بها • ولكن انعكاس سهم الزمن بالنسبة للصندوق يؤدى لتقليل العشوائية ، وانخفاض الانتروبيا ، فكيف تحايل بولتزمان على تماثل الزمن في حالة النشاط الجماعي للجزيئات ؟

في الحقيقة ان صندوقا ممتلئا بجزيئات الغاز ويتبع قوانين نيوتن تماما لا يشترط له أن يحتوى على سهم الزمن • فمن المحتمل ، بعد قدر مبالغ في طوله (أطول من زمن الانفجار العظيم بكثير) ، أن نتصور أن الحركة العشوائية الدائمة تمر بكل الحالات المتاحة ، بالضبط كتخيلنا أن استمرار خلط الأوراق لفترة غاية في الطول يمكن أن يعيد ترتيبها • ان ما تبينه حسابات بولتزمان حقا هو أنه اذا كان الغاز في درجة من الانتظام المقابل لانتروبيا منخفضة في لحظة معينة ، فان الاحتمال الأكبر هو أن تكون اللحظات التالية في اتجاه يصل بها الى توازن من عشوائية كاملة ، أو درجة قصوى من الانتروبيا • ولكن هذا ليس توازنا مطلقا ، فالتغيرات الاحصائية ستحدث بحيث يجد الغاز نفسه وقد عاد الى حالته الأولى من الانضباط ، وتعاد الدورة • ولكن هذا يقتضي وقتا غاية في الطول •

(ا)

(ب)

شكل (٢٢ ا) غاز محتوى في نصف صندوق (ب) حين يزال الفاصل ، يتمدد الغاز ليملأ الصندوق بأكمله • الحالة الأولى أكثر انتظاما عن الثانية ، وبالتالي فهي أقل من حيث الانتروبيا • والتحول غير المنعكس من حالة الانتروبيا المنخفضة الى المرتفعة تمثل سهم الزمن الترموديناميكي •

اذن ، ما مصدر سهم الزمن الذى نلقاه في حياتنا اليومية ؟ تكمن الاجابة ليس في قوانين الحركة الجزيئية ، بل في الظروف الأولية

للغاز . فقد أثبت بولتزمان أنه اذا كان غاز ما فى درجة انضباط نسبية ، فان الانتروبيا فيه سوف تكون زيادتها أكثر احتمالا ، ولكن الموضوع الحقيقي هو كيف تحقق النظام فى البداية . فى الواقع لم يكن ذلك أبدا نتيجة انتظار فترة غاية فى الطول . ولكن بسبب أن الكون بأكمله يتقدم من مرحلة منخفضة الانتروبيا الى أخرى مرتفعة فيها . ويمكننا هذا من أن نخلق وضعا يكون فيه الغاز ، مثلا ، محتوى فى حيز من صندوق مزود بفاصل محكم ، كما هو مبين فى الشكل (٢٢) . وفى هذا الصندوق توجد درجة من النظام تصبح غير موجودة لو أزلنا الفاصل ، وملأ الغاز الصندوق بأكمله . وتحقيق هذا القدر من النظام الأول لم يتم بلا تكلفة ، بل نتيجة نشاط عمدى ، من صناعة الصندوق واحكام الفاصل فيه ، هذه الأنشطة زادت من الانتروبيا للكون بأكمله . والانتروبيا المنخفضة المتمركزة فى جزء من الصندوق هى وقتية ، تزال عندما يخل باحكام الفاصل بين الجزءين ويتسرب الغاز ليملأ الصندوق ، مما يرفع الانتروبيا مرة أخرى .

كل ذلك ممكن لأن الأرض نظام مفتوح ، تغمره الطاقة التى يأتى القدر الغالب منها من الشمس ، والتى هى مثال كلاسيكى للتوازن الديناميكى الحرارى ، كرة مضيئة من غازات حارة تبث طاقتها الهائلة فى اتجاه لاانعكاسى فى الفضاء البارد من حولها . وسهم الزمن الذى نقابله فى حياتنا اليومية هو بسبب قريبا من هذا المصدر الهائل من الطاقة فى السماء ، والذى يمثل دلوا من الانتروبيا السالبة يمكننا الغرف منه لنعيد النظام على كوكبنا .

ولكى نتتبع نشأة سهم الزمن الى منشئه ، علينا أن نعرف كيف وصلت الشمس لحالة من الانتروبيا أقل من الحالة القصوى ، والتى تسمح لها ، بل وتضطرها ، الى بث طاقتها فى الفضاء . وحيث ان الشمس هى نجم مثل كثير غيرها ، فالمسألة كونية . كيف يوجد الكون حاليا فى مرحلة عدم توازن ، فيه طاقة متمركزة فى أماكن دون الأخرى ؟؟

وليس هذا السؤال جديدا ، فقد طرحه من قبل ، وبصيغة مختلفة قليلا ، الفلكى السويسرى فى القرن الثامن عشر جين فيليب دي شاسو

Jean-Phillip de Choseaux ، ثم أعاده بعد قرن الألمانى جيرمان أولبرز German Olbres ، قبل أن يحل أخيرا فى القرن العشرين . واللغز الذى حير دي شاسو وأولبرز ، من بين آخرين ، هو أنه لو كانت النجوم تبث اشعاعها الحرارى وضوءها منذ الأزل ، لكانت المناطق بينها ممتلئة بالاشعاع ، ولبدت السماء مضيئة على الدوام . ورغم أن المسألة لم تطرح بهذه الصياغة حتى القرن الحالى ، فان قدرا من اللغز يكمن فى كون الفضاء أبرد من النجوم ، لماذا لم يتحقق التوازن الترموديناميكى للكون ؟

وتأتى الاجابة ليس من تطبيق قوانين الفيزياء على الكون اليوم ، بل كما كان فى ظروف نشأته الأولى . ولم تكن الصياغة الأولى تتضمن ظروفا أولية ، حيث كان ينظر للكون على أنه سرمدى . هذه النظرة لم تعد سارية اليوم ، وان أحد الأدلة الدامغة على أن للكون ظروفا أولية هو فى الواقع ظلمة السماء فى المساء . فالنجوم تولد طاقتها بحرق الوقود النووى ، بتحويل العناصر الخفيفة (أساسا الهيدروجين) الى عناصر أثقل ، بدءا من الهيليوم وانتهاء بالحديد الذى هو أكثر العناصر استقرارا نوويا (أعلاها انتروبيا) . وفى تحويل الهيدروجين الى حديد يكون النجم قد تسبب فى زيادة كبيرة فى الانتروبيا ، باطلاقه كل هذه الطاقة التى كانت فى الأصل محبوسة فى النواة ، على صورة اشعاع انتشر الى أقصى أجواز الفضاء .

علينا اذن الرجوع الى الوراء أكثر ، لأصل الوقود الهيدروجينى الذى مكن من هذه العملية . ويرجعنا هذا لقرابة خمسة عشر بليونا من السنوات فى الماضى ، الى لحظة الانفجار العظيم . ويستنبط العلماء الفلكيون من دراسة معدل تمدد الكون والخلفية الاشعاعية الكونية ، أنه بعد ثانية واحدة من المفردة الأولية كانت درجة حرارة الكون عشرة بلايين من الدرجات ، وهى درجة من الارتفاع تحول دون تكون أنوية العناصر ، وكانت مادة الكون عبارة عن حساء من المكونات الأولية للذرات (بروتونات والكترونات ونيوترونات حرة) مع « جسيمات أولية » أخرى . وبهبوط درجة الحرارة ، بدأت الجسيمات الذرية فى التجمع فى أنوية ، بنسبة

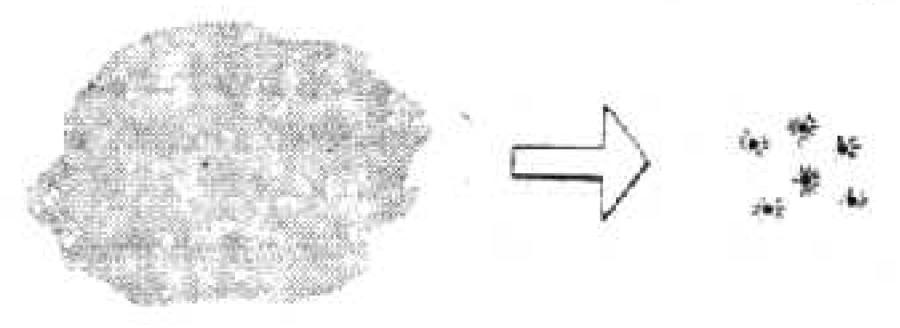
٢٥٪ من الهيليوم ، وأقل من ١٪ من العناصر الأثقل ، وحوالى ٧٥٪ من الهيدروجين .

هذه الفترة من الاندماج في أنوية استغرقت مجرد عدة دقائق ، وتوقفت لأن درجة الحرارة هبطت عما يسمح لها بالاستمرار . ولهذا السبب « تجمد » القدر الأكبر من المحصول الذرى على صورة هيدروجين ، وهى حالة الانتروبيا المنخفضة التى نعايشها اليوم . فقط فى داخل النجوم ، حيث تولد الجاذبية ضغطا هائلا ، تبلغ درجة الحرارة ما يماثل الدقائق القليلة بعد المفردة الأوليـة ، بما يسمح بإطلاق عملية الدمج النووى مرة أخرى ، واستمرار انزلاق الكون الى مصيره المحتوم من الموت الحرارى . ان هذا الرصيد المتبقى من الهيدروجين هو الذى يتيح اجراء الأنشطة النافعة ، وهى الأنشطة التى يتمثل فيها سهم الزمن .

ولكنا نواجه عندئذ بلغز آخر ، لو كان الكون قد بدأ بحالة منخفضة من الانتروبيا ، منها يقوى بالتدريج فى عملية غير انعكاسية ، فاننا نستنتج أن الكون فى مراحله الأولى كان أبعد ما يكون عن حالة التوازن الترموديناميكى (أى حالة الانتروبيا القصوى) . ومع ذلك فان لدينا شواهد أن الكون بعد ثانية كان فى حالة قريبة من تلك الحالة ، فالخلفية الاشعاعية ذاتها ، وانتظام توزيع المادة على النطاق الواسع ، والتفسير المبسط لمعادلات النسبية ، كلها تؤدى لنفس النتيجة . فكيف سار الكون من التوازن الى عدم التوازن ، بينما تتطلب قوانين الفيزياء أن يكون العكس هو الصحيح ؟ وبعبارة أخرى ، لو كان الكون ساعة تسير بانتظام ويطء الى التوقف ، فكيف ملئت فى البداية ؟

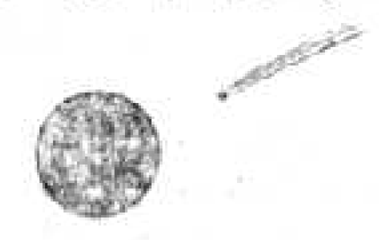
تكمن الاجابة فى تمدد الكون . ان هذا التمدد هو الذى تسبب فى أن تبرد المادة الكونية . لم يكن لنجم مثل الشمس أن يظل فى مواجهة الحرارة الحادثة بعد المفردة الأولية الا لعدة دقائق . انها لم تظل موجودة بسبب حرارتها ، بل بسبب برودة الكون التى هى بفضل تمدده . ان هذا التمدد هو الذى يسمح للنجوم أن تظل متوهجة على خلفية من برودة الفضاء . وفى هذا الخصوص لا يعتبر الكون نظاما مغلقا بصورة مثالية ،

حيث انه فى تمدد مستمر ، بالضبط كما لو كنا مستمرين فى تحريك الفاصل فى صندوق الغاز ، بحيث لا يسمح للغاز أن يستقر . فالتمدد يعطينا عدم التوازن الترموديناميكى الأساسى الذى يعطى سهم الزمن اتجـــاهه .



شكل (٢٣) تتطور سحابة غازية متجانسة ـ تحت تأثير جاذبيتهـا الى حالة من اللاتجانس تتجمع فيها المادة على شكل نجوم ، ويمثل هذا سهما آخر للزمن .

ولكن هذه الاجابة مقنعة فقط الى هذه النقطة ، فسهم الزمن المتولد عن الديناميكا الحرارية هو واحـد من كثير ، فلدينا سهم متولد عن الجاذبية ، فنظم الجاذبية لها ميل طبيعى للتقدم من التشكيلات المنتظمة الى غير المنتظمة ، كما تتكتل سحابة غازية فى الفضـــاء فى شكل نجم (الشكل ٢٣) . والمصير النهائى لهذا الطريق وحيد الاتجاه هو الثقوب السوداء ، حيث تتكتل المادة بشدة تجعلها تنهار لدرجة الاختفاء عن الأنظار . وحقيقة أن الأشياء يمكن أن تسقط داخل الثقوب السوداء ، ولكن لا يمكن أن تفر منها هى مثال واضح للاتماثلية الزمن . فالشريط السينمائى لا يمكن أن ينعكس (الشكل ٢٤) . ويتقدم الكون تجاه الموت الحرارى ، بتحول



شكل (٢٤) : يمثل الثقب الأسود أقصى صورة للشد الجذبى ، فالجسم الذى يسقط فيه لا يفلت منه أبدا ، ويمثل ذلك الشد شوط سهم الزمن التجاوبى التارة .

قدر أكبر من المادة الى ثقوب سوداء . وقد بين روجر بنروز من جامعة أوكسفورد أن الانتروبيا للكون الأولى هى مجرد ١٠-٣٠ من قيمتها التى يمكن أن تكون لو أن كل ما فيه من مادة قد تركزت فى ثقب أسود . ويثير هذا السؤال التالى: لماذا كان الكون المبكر كرتا من سحاب يكاد يكون منتظما من الغاز ، اذا كان الوضع الأكثر احتمالا (الأعلى من وجهة نظر الانتروبيا) هو تكتل المادة فى ثقوب سوداء ؟ لماذا لم يتجه الانفجار العظيم مباشرة الى الثقوب السوداء ؟ والدلالة على هذا التوزيع المنتظم للكون البدائى تأتى كما لحنا من التوزيع المنتظم للخلفية الاشعاعية للكون . فهذه الخلفية كانت ستحمل بصمة من عدم الانتظام فى مراحل الكون الأول . ولكنها كما سنذكر فى الفصل الخامس منتظمة بنسبة واحد الى ١٠٠٠٠ .

ولكى نوجز ما قصصناه الى الآن ، يبدو أن هناك على الأقل ثلاثة أسهم للزمن : ثرموديناميكى وجاذبى وكونى . ويكاد يكون من المؤكد وجود رابطة بينها . فحالة الانتروبيا المنخفضة يمكن تتبعها فى التمدد الكونى ، والتمدد الكونى ذاته هو مثال للنشاط التجاذبى فى الكون ، والميل العام للنظم التجاذبية للتطور من غلالة سحابية الى تكتل نجمى يعتبر مثلا لتمدد الكون فى انتظام واطراد . وهكذا فان تعليل سهم الزمن يبدو انه مرتبط بتعليل السلاسة والانتظام التى كان عليها الكون البدائى . هل السبب يكمن فى أن الكون « خلق بهذه الصورة » ، او بعبارة أخرى ، انها بداية اعتباطية تخرج عن مجال العلم ؟ ، أم انه من الممكن أن نجد تفسيرا لسلاسة الكون عن طريق نظرية عن أصل الكون ؟ على أى من الاحتمالين ، لقد تتبعنا سهم الزمن الى خلق الكون ذاته ، والعمليات التى جرت فى كسر الثانية التى تلت .

قبل أن نترك المناقشة عن سهم الزمن لكى نتحدث عن الكون البدائى، علينا أن نقول شيئا ملغزا آخر حول طبيعة الزمن . فمهما كان القرار بشأن لغز أصل سهم الزمن ، فما من شك فى أن السهم موجود ، وهو الذى يميز بين الماضى والمستقبل . ولكننا قد قدمنا أن النسبية ليس فيها مكان للماضى والحاضر والمستقبل ، فكيف نوفق بين هذه الحقائق ؟

الزمن والوعى

كما قدمنا فى مناقشتنا للتواقت (الشكل ١٤) ، فان « متصل » الزمكان الموحد يعنى ضمنيا أن الزمن « يبسط » فى كليته ، مثل المكان . فليس من معنى مطلق يمكن أن نلحقه بمفهوم « الآ « حاضر » والأكثر من ذلك ، فان فكرة « سريان » الزمن أو أن اللحظة الحاضرة تسرى من الماضى للمستقبل ليس لها مكان فى وصف العالم . هذه المسائل أوجزها بلباقة الفيزيائى الألمانى هيرمان ويل بقوله : « العالم لا يحدث ، انه ببساطة يكون » .

كثير من الناس يخلطون بين وجود سهم الزمن والانطباع السيكولوجى بأن الزمن يسرى فى اتجاه واحد . ويرجع ذلك جزئيا لغموض الترميز الخاص بفكرة السهم ، والذى قد يستخدم ليعبر اما عن الحركة فى اتجاهه ، واما للتعبير عن اللاتماثل ، كما تعبر ابرة البوصلة عن التمييز بين الشمال والجنوب . فحين تشير الابرة للشمال ، فذلك لا يعنى أنك تتحرك فى اتجاه الشمال . كما أن الخلط يحدث نتيجة لعدم الدقة لغويا فى استخدام مصطلحى « الماضى » و « المستقبل » . فكلا المصطلحين لهما مكان فى الفيزياء ، بشرط استخدامهما فى صياغة صحيحة أجروميا . فالحديث عن « الماضى » و « المستقبل » غير مسموح به ، ولكن بامكانك القول ان لحظة ما هى ماضى للحظة تالية ، فليس من شك فى ترتيب الحوادث فى الزمن ، بالضبط كما تتوالى صفحات كتاب فى الفراغ ، فى تتابع منضبط ، والأكثر من ذلك ، هذا الترتيب كما يجرى ترقيم الكتاب ، يحمل اتجاها مصحوبا به ، حتى وان لم يكن هناك شىء حقيقى يسرى . فأولا وأخيرا ، تتطلب فكرة السببية نوعا من علاقة « قبل ف بعد » للحوادث . فكمثال بسيط ، حين تطلق رصاصة على هدف، وتراه يتحطم ، فلن يكون هناك شك فى ترتيب الحوادث بالنسبة لأى مشاهد ، فالتحطيم حدث بعد الاطلاق ، فالنتيجة تقع دائما كمستقبل بالنسبة للسبب .

ولكنا حين نشير لسهم الزمن ، لا يجب أن نفكر فى سهم يطير فى

الفراغ من الماضي للمستقبل ، بل علينا ان نفكر في سهم مثل ابرة البوصلة ، يشير الطريق للمستقبل ، حتى ولو لم يكن هناك تحرك تجاهه .

ولقد تجادل الفلاسفة طويلا حول الموضوع الشائك : هل اللحظة الحاضرة حقيقية موضوعية ، أم مجرد اختراع سيكولوجي ؟ فاولئك الذين هم من أمثال هانز ريخنباخ Hans Riechenbach وج. ويترو G. Whitrow والذين اتجهوا الى حقيقة الحاضر يعرفون باسم « المنظرون فئة (أ) A theorist » . بينما يطلق على معارضيهم ، من أمثال ا. آير A. Ayer وجي. سمارت J. Smart وأدولف جرنباوم Adolph Grunbaum « المنظرون فئة (ب) » . ويعكس المصطلحان أ و ب وجود نموذجين متباينين للحديث . الأول يستخدم مفاهيم الماضي – الحاضر – المستقبل وما يتعلق بها من أزمنة قاعدية منتشرة في اللغة (٣) . اما النظام الثاني فيستخدم نظام التواريخ . فالأحداث تعنون بتاريخ حدوثها ، بدأ كولومبوس في الابحار ١٤٩٢ ، أول هبوط الانسان على القمر ١٩٦٩ ، وهكذا . ويفيد هذا في وضع الحوادث في ترتيب لا يثير غموضا ، وهو النظام الذي يستخدمه الفيزيائيون . فالتواريخ هي ببساطة احداثيات ، بالضبط كما تستخدم خطوط الطول والعرض لتحديد موقع على سطح الكرة الأرضية . ومن وجهة نظر الفيزيائيين ، فهذا هو كل ما هو مطلوب لوصف العالم .

ويذهب الفريق (ب) الى ان هذين النظامين للحديث عن نفس الترتيب للأحداث لا يمكن أن يكونا متوافقين . فحيث ان اللحظة الحاضرة تتحرك باستمرار للأمام ، فالحوادث التي تعتبر مستقبلا سرعان ما تصبح حاضرا فماضيا ، ولكن لا يمكن عنونة حادثة معينة بالعناوين الثلاثة ، كماض وحاضر ومستقبل .

وتتعلق معضلة أخرى في رأيهم بمسألة مدى سرعة التحرك في الزمن . والاجابة يمكن فقط أن تكون ثانية كل ثانية ، (أو أربعا وعشرين ساعة كل أربع وعشرين ساعة) وهو ما لا يفيدنا بشيء ، فهو مجرد لغو .

فمفهوم التغير يعني قيما متغيرة في اللحظات المختلفة . ولكن أي شيء يعني تغير الزمن بالنسبة للزمن ؟!

وقد تناول المشكلة في السنوات الأخيرة كاتب خيال يدعى جي. دن J. Dunn والذي اخترع شيئا أسماه الزمن المتسلسل . وقد قبل دن فكرة أن الحاضر يتحرك ، ولكنه ادرك ان هذا له معنى فقط لو ادخلنا مقياسا آخر للزمن ، يمكن بالنسبة اليه تحديد تقدم الزمن الأول . ثم مد الفكرة باقتراح زمن ثالث ورابع وهكذا ، في تتابع غير منته . وحاول دن ربط هذه المستويات المختلفة من الزمن بطبقات وعينا ، باقتراح أنه اثناء الأحلام يمكن ان يكون الانسان في الزمن ٢ ، بما يمكنه من رؤية الحاضر والماضي والمستقبل . وليس من المستغرب الا تؤخذ فكرة دن بجدية لا من الفلاسفة ولا من العلماء ، ولكنها تبين مدى الصعوبة الكامنة في أخذ مفهوم سريان الزمن بجدية .

وعند هذه النقطة سوف يعترض القارئ المتشكك والجدل التقليدي يسير كالتالي : « مهما كان ما يقوله العلماء أو الفلاسفة ، فمما لا شك فيه أن الأمور تحدث ، ان هناك تغيرا لا شك فيه ، فأنا أعايشه معايشة مباشرة . فمثلا ، كسر مني قدح القهوة : ولقد حدثت الحادثة في الرابعة . ولقد كان التغير للأسوأ . ان فنجان القهوة الآن مكسور ، ولم يكن في الصباح » .

ولسوف ترد الفئة (ب) بأن ذلك ما هو الا خداع : « كل ما تقولونه هو انه قبل الرابعة كان القدح سليما ، وبعد الرابعة كان مكسورا ، وعند الرابعة كان في حالة بينية » هذه الطريقة من الوصف ، وهي طريقة الفئة (ب) ، تحمل نفس المعلومات عن الحوادث المتعلقة بالقدح ، ولكنها لا تشير بأية حال لسير الزمن . ليس من داع للحديث عن كون القدح قد تغير الى حالة الكسر ، أو ان هذا قد حدث في الرابعة . كل ما هناك تواريخ وحالات . وليس من داع للمزيد .

ويمكن فى الواقع للفئة (ب) أن تمضى لأبعد من ذلك ، بالقول بأننا لا نقيس الزمن اطلاقا بصـــورة مبـــاشرة . ان ما نقيسه واقعا هو شيء ملموس ، كمكان عقرب الساعة على مينائها ، أو موضع الأرض بالنسبة للشمس ، فعندما نقول ان شيئا ما قد كسر فى الرابعة ، فان ما نعنيه فى الواقع أن حالة ســـلامة الشىء تتفق مع وضع عقرب الساعة عند الرقم ٤ ، وحالة الكسر عند موضع للعقرب بعـــد هذا الرقم ، وبهذه الطريقة تمحى تماما أية اشارة للزمن فى وصف العالم .

وقد ترد الفئــة (أ) بأن مفهوم تغيير وضع عقرب الساعات ذاته يتطلب اشارة للزمن ، ما لم يكن هو أيضا مرتبطـا بشىء ما ، كحركة دوران الأرض . وعندئذ تنتقل المشـــكلة الى دوران الأرض ، وهـــكذا . فما نهاية هذا التســـلسل ؟

مرة أخرى ، نجد أنفسنا مجبرين على التأمل فى الظروف الأولية . فالســاعة النهائية هى الكون نفسه ، والذى بتمدده يحدد الزمن الكونى ، ويبدو أن هذا يحمل مغزى هاما ، كل من سهمى الزمن الترموديناميكى والفلسفى يبدو أنهما يجدان أصلهما فى تمدده ، فى سهم الزمن الكونى . ولكن حين نحاول دراسة أصول هذا التمدد بمعرفة أفضل وصف علمى فى الميكانيكا ، ميكانيكا الكم ، نجد أمامنا مفاجأة مدهشـــة ، اذ يختفى الزمن الكونى من المعادلات تماما ! فمعادلات الجاذبية التى تحكم حركة الكون تفرض قيدا له أثر فى الغاء بعد الزمن . وعلى ذلك فكل التغيرات يجب أن تقاس عن طريق الترابط . وفى النهاية يرتبط كل شىء بحجم الكون . فأى تصور لحاضر يتحرك قد نوى كلية ، بالضبط كما ادعى رجال الفئة (ب) دائما .

ولكن ماذا عن حقيقة احساسنا بأن الزمن يسرى ؟ تذكر أن آينشتين قد تحدث عن خـداع . والخـــدع المتعلقة بالحركة تصادفها فى مواضع أخرى ، والمألوف منها هو الدوار ، فعندما تركب مركبة تدور بسرعة ثم تتوقف فجأة ، ينتابك احساس طاغ بأن الكون يدور من حولك ؟ ولكنك

تعلم يقينا بأنك متوقف ، وربما كان احســاسنا القوى بسريان الزمن هو نوعا من هذا الخداع ، وأنه مرتبط بالطريقة التى بها تعمل ذاكرتنا .

والنقاش أبعد من أن يكون كافيا . فعلى الرغم من أن القدر الأكبر من الحجج هى فى صف الفئة (ب) ، وضد حقيقة موضوعية عن حاضر يتحرك ، فيبدو أنه من المستحيل أن نرمى الموضوع وراء ظهورنا كلية . الا يحتمل أن هناك وجهـا للزمن لم ندركه بعد ، هو الذى يفسر فى الطريقة المبهمة وغير الكاملة لادراكنا لتحرك اللحظة الحاضرة ؟ لقد تكلمنا من قبل عن الهيولية ، والتى تدحر روح الحتمية النيوتونية من النظرة للعالم ، وبالنظر للمستقبل على أنه غير متوقع ، فهو لم يحدد بالحاضر بعد . ان أحد أفرع العلم التى سنتناولها بالتفصيل فى الفصل السابع ، تتضمن النظرية الكمية ، والتى تخبرنا أن هناك قدرا كامنا من عدم اليقين نصادفه فى حوادث المستوى دون الذرى . وفى ميكانيكا الكم ، يوجد العديد من أنماط الحوادث المستقبلة ، بمفهوم ما ، الى أن يقوم المشاهد العديد من أنماط الحوادث المستقبلة التى يقر بوجودها جميعا ، رغم تعارض احتمالاتها ، الى ان يقوم المشاهد بتحويل أحد الاحتمالات المفترضة الى واقع . هذا التحويل الجوهرى ربما يكون مرتبطا تماما بصورة ما بالمفهوم الهلامى لسريان الزمن .

ورغم ما فى هذا القول من عدم الارضاء ، فعلينا أن نقر بأننا هزمنا فى محاولة تحديد ماهية الزمن ، وأن نبحث عن بديل مؤقت لتصـــوراتنا الحالية عن سريان الزمن فى محاولة الأصل والنهاية المحتومة للكون . ومع ذلك ، فهذا الاعتراف بالهزيمة فى حد ذاته يبين مدى الحاجة الى اطار فكرى لما بعد النيوتونية ، اشارة الى أنه يوجد المزيد عن الكون بما لا يمكن لنظرياتنا العلمية استيعابه . والآن ، الى أى مدى يمكن لعلم القرن العشرين وصف أصل المكان والزمن ؟

هوامش الفصل الرابع

---

(١) يمكن للقارىء المهتم بهذا الموضوع مراجعة كتاب « الدقائق الأولى » ، ترجمة الدكتور ممدوح الرصفى أستاذ الفيزياء بجامعة عين شمس ، من منشورات ، الغد للنشر ، ٨٦ شارع ٢٦ يوليو ، القاهرة – (المترجم) .

(٢) تظهر هذه المجرة فى السماء كخط باهت الضوء . ومن ثم كانت التسميتان ، الأولى ، وهى المتفقة مع التسمية الانجليزية ، تتخيل رجلا يتساقط اللبن من اناء معه ، والثانية يتساقط التبن من حمولة ينقلها – (المترجم) .

(٣) ربما باستثناء واحد ، فقد قالنا اللغويون ان شعب الهوبى Hopi فى شمال امريكا لا يميزون فى لغتهم بين الأزمنة الثلاثة . وليست لديهم أية وسيلة للتعبير عن سريان الزمن ، فبالنسبة لهم تتميز الأحداث بكونها اما « ظاهرة » أو « متطورة » .

الفصل الخامس

الثانيـة الأولى

فى عام ١٩٧٦ كتب الفيزيقى ستيفن فاينبرج Steven Weinberg كتابا أسماه « الدقائق الثلاث الأولى » (١) ، يصف فيه المراحل المبكرة من الكون ، الانفجار العظيم ذاته . ولكن عنوان الكتاب يحتوى على خدعة بسيطة ، فالقصة التى حكاها فاينبرج عن كيفية تحول الحالة متناهية الانضغاط للمادة الأولية الى كون متمدد ، توزعت فى المادة بالتساوى فى أرجاء الفضاء على هيئة هيدروجين بنسبة ٧٥٪ وهليوم بنسبة ٢٥٪ تقريبا انتهت بالفعل بعد ثلاث دقائق من المفردة الأولية ، ولكنها ايضا بدأت بعد جزء من المائة من الثانية من تلك المفردة ، أى ليس فى البداية بالضبط . فى ذلك الوقت كان الفيزيائيون أبعد من أن يستطيعوا الدفع بنظرياتهم الى الانفجار العظيم ، وما حدث خلال الجزء من المائة من الثانية الأولى كان بالنسبة لهم مبهما . والآن ، بعد أقل من عشرين عاما ، يتحدث بعض المنظرين بثقة عن حوادث حدثت خلال هذه الفترة ، ولكنهم لا يزالون عاجزين عن الرجوع الى لحظة المفردة ذاتها ، ليس عن عجز فى نظرياتهم . فقد صار متفقا تماما على أن هناك جزءا من الزمن لا يمكن تجزئته . يسمى « زمن بلانك Plank's time » . ان هذه الصفة الكمية التى أعطيت للزمكان تعنى ضمنيا أن الزمن « بدأ » ، بمعنى معين ، عند عمر للزمن مقداره 10^{-43} من الثانية . فالمفردة ذاتها لا يمكن سبر غورها . فما عومل من قبل على انه المفردة ضاع فى خضم التأثيرات الكمية .

وفهمنا لتاريخ الكون في الثانية الأولى من عمره يقف على قدم المساواة مع فهمه في الدقائق الثلاث الأولى في منتصف السبعينيات . وفي خلال الثانية الأولى حدثت العمليات التي استوى فيها الكون المرئي وجعلته يسير الى حالة الانتروبيا المنخفضة؛لكي تظهر في تاريخ لاحق للكثير من الأشياء مثيرة ، بما فيها نحن .

ويعنى الانفجار العظيم ضمنا ليس فقط ظهور المادة والطاقة ، بل أيضا الفضاء والزمن . وزاوجت روابط الجاذبية الزمكان بالمادة ، حيثما يسير أحدهما يتبعه الآخر حتما . فالانفجار العظيم هو الماضي الأقصى للكون المادى بأكمله ، وهو الذى يمثل بداية الزمن ، فليس له « قبل » . هذا المفهوم المحير كان متوقعا منذ عهد بعيد من القديس اوجستين ، والذى كان يردد أن العالم قد خلق « مع الزمن ، وليس فى الزمن » .

ولقد جادل الفلاسفة ورجال الدين كثيرا حول المعنى الحقيقى للخلق « مع الزمن » . فواقعة كهذه يجب أن تكون بدون سبب مسبق ، لأن السببية ذاتها مفهوم مرتبط بالزمن . ويعتبر اللغز الكونى جزئية من الجدال اللانهائي وغير المحسوم حول علاقة الله بالوقت . ولكن الفيزيقيين المحدثين ، وبالتحديد في النظرية الكمية ، قد ألقوا ضوءا جديدا على العلاقة بين السبب والنتيجة ، في مسيرهم لغور لغز سبب الانفجار العظيم الذى لم يكن له « قبل » .

وبالنسبة لغرضنا الحالي ، فالخاصية الجوهرية في النظرية الكمية هى اللاحتمية . فالفيزياء القديمة ربطت كافة الوقائع فى رباط وثيق من الأسباب والنتائج ، ولكن على المستوى الذرى اتضح أن هذا الرباط ليس محكما تماما . فالحوادث قد تقع دون سبب قاطع ، وتحولت الحركة والمادة الى اشياء مبهمة . فالجسيمات لا تتبع مسارات محددة تماما والقوى لا تحدث الآثار المحتومة . لقد أفسحت الساعة المنضبطة لميكانيكا نيوتن المجال الى خليط هلامى من أنصاف الحقائق (٢) . انه من خلال ذلك الأحيح على المستوى دون المرئي ينبع عدم اليقين . فما يحدث من لحظة

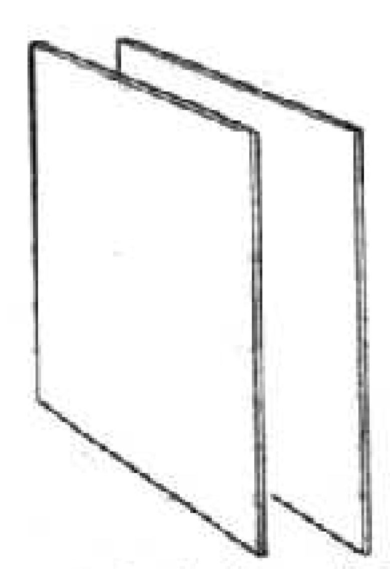
لأخرى ليس محددا تماما ، كل ما يمكن اعطاؤه هو فقط الحدس والظن . فالتذبذبات العشوائية فى هيكل المادة ، بل والزمكان ، امر محتوم .

شيء مقـــابل لا شيء :

من أعجب ما ينتجه عدم اليقين الكمى هو ان المادة يمكن ان تظهر من دون مكان ما . ففى الفيزياء الكلاسيكية ينظر للطاقة على انها شيء ثابت ، لا يخلق من العدم ، فهى فقط تتحول من صورة لأخرى . أما ميكانيكا الكم فتسمح بظهور طاقة من لا شيء ، طالما انها تختفى فى لمح البصر . وحيث ان المادة هى صورة من الطاقة ، فان ذلك يعنى - كما قدمنا فى الفصل الأول ، احتمالا للظهور عرضى لجسيمات من لا شيء . هذه الظاهرة تعدل جذريا ما نعنيه بـ « الفضاء الفارغ » .

تخيل صندوقا أخلى من كل صور المادة . قد نظن ان هذا هو الفراغ بعينه ، او الفضاء الفارغ . والواقع ان التذبذبات فى الطاقة الكمية للفراغ تسبب خلقا مؤقتا لكل أنواع الجسيمات « التقديرية » ، وهى جسيمات ما تلبث أن تظهر حتى تختفى . فالفراغ الساكن ظاهريا ما هو الا بحر مهتاج بالنشاط الذى لا يهدأ ، ممتلىء بالجسيمات الشبحية التى تظهر ، وتتفاعل ، ثم تتلاشى . ولا يهم اذا كان الصندوق مفرغا من المادة « الدائمة » أم لا ، فهذا النشاط يمور فى كل ما حولنا ، بما فيه الفراغ داخل الذرة . الأكثر من ذلك فان هذا النشاط الفراغى الذى لا يمكن التخلص منه ليس فرضا نظريا ، بل هو ينتج آثاره على الذرات وما دون الذرات ، آثار ملموســة بالتجربة . وقد اقترح الفيزيائى الدانمركى هندريك كاسيمر Hendrik Casimer وضع لوحين معدنيين متقابلين على مسافة جد صغيرة (الشكل ٢٥) . هذان اللوحان لكونهما من المعدن سوف يكونان عاكسين للفوتونات بصورة عالية ، بما فى ذلك الفوتونات التقديرية التى افترضناها . ونتيجة لهذه الانعكاسات المستمرة ، فان تغيرا ملحوظا يحدث فى طبيعة الفراغ فى الفجوة بين اللوحين .

وأفضل تصوير لما يحدث هو المقارنة بوتر جيتار . فلأن الوتر مثبت من طرفيه ، فهو لا يهتز الا بنغمات معينة ، وهذا بديهى لأى



الشكل (٢٥) : تأثير كاسيمر ، يترتب على وضع اللوحين العاكسين اضطراب الفراغ الكمي بينهما ، باجبار الفوتونات على اتخاذ اطوال موجية محددة ، وينتج عن ذلك قوة تجاذب بين اللوحين .

موسيقى . والذبذبات المتنقلة على طول الوتر تنعكس جيئة وذهابا بين الطرفين المثبتين ، بحيث لا يلعب الوتر الا نغمة محددة ، هى التى تسمح باستقرار نصف موجة بالضبط على طول الوتر ، أو مضاعفاتها (تسمى المضاعفات بالتوافقيات (harmonics كما فى الشكل (٢٦) . أما غير ذلك من ترددات فممنوعة . وبصورة مشابهة ، تسمح الفجوة بين اللوحين بذبذبة محددة من الموجات الكهرومغناطيسية ان تتردد بين اللوحين ، « نغمة » خالصة من هذه الموجات ، أو توافقياتها الأعلى . أما كافة الترددات غير المتوافقة فى طولها مع مسافة الفجوة ، فلن يكون لها وجود بين اللوحين .

وحيث ان قدرا من الطاقة محروم تواجده بين اللوحين ، فان قدر الفوتونات المتاحة بين اللوحين سيكون أقل من المتاح خارجهما ، وعليه يكون دفع الفوتونات على السطحين الداخليين للوحين أقل منه على السطحين الخارجيين ، مما يترتب عليه ميل اللوحين للتقارب . ويظهر تأثير كاسيمر Casimer effect على صورة قوة تجاذب بين اللوحين .

أصلا ، نتجت عن تحطم البروتونات نتيجة للتصادم ، بل خلقت من فرق الطاقة الحركية للجسيمين المتصادمين نتيجة تباطئهما بسبب التصادم . وحيث ان الفراغ لم يتكلف شيئا من الطاقة فى خلقها ، فانها تظل باقية كجسيمات حقيقية .

فالجسيمات التقديرية يمكن أن ترتفع لمستوى الحقيقية اذا ما دفع مقابل من الطاقة لقاء بقائها . والطريقة المباشرة لعمل ذلك فى تجربة كاسيمر هى تحريك أحد اللوحين بعنف (وهو يقابل نقر الوتر) . وفى الواقع فانه من ناحية المبدأ فكل ما هو مطلوب مجرد تحريك أحد اللوحين ، فبينما يتحرك السطح العاكس ، تنعكس منه المجالات الكمية ، ولو تسارعت هذه المرآة فان ذلك يعطى طاقة للفوتونات تمكنها من الانبعاث ، مما يجعل المرآة فى الواقع مصدرا للضوء ، وليس مجرد عاكس له . فاعطاء المرآة تسارعا شديدا ، يمكن المرء من رؤية الجسيمات المخلقة فى الفراغ الكمى رأى العين .

ولكن عقبة تثور فى مواجهة ذلك . فلو ان المرآة اعطيت تسارعا يساوى تسارع السقوط الحر ، فان حرارة الاشعاع المنبعث لن تكون أعلى من ٤×١٠^{-٢٠} درجة كلفن . وتبين المعادلات ان العلاقة طردية بين التسارع ودرجة الحرارة ، بمعنى أن تضاعف التسارع تتضاعف معه درجة الحرارة . ولما كانت درجة حرارة الضوء المرئى تساوى ٦٠٠٠ درجة كلفن (درجة حرارة سطح الشمس ، والتى منها يرد أغلب الضوء المرئى) ، فمن الواضح أنه ما من مادة تصنع منها المرآة المتحركة يمكنها أن تصمد لمثل هذه الحرارة .

ولكن لم يفقد كل شيء ، فالأبحاث فى معامل بل تحاول الحصول على نفس النتيجة باستخدام الغازات المؤينة بضوء الليزر ، وبالتحكم فى الليزر بالصورة المناسبة ، فان الغاز المتأين يمكن ان يمثل المرآة المذكورة ، وما زال تصميم جهاز مبنى على هذه الفكرة جاريا حتى تأليف هذا الكتاب .

الشكل (٢٦) : الفوتونات التقديرية المحصورة بين اللوحين في الشكل (٢٥) تعمل مثل الجيتار حين تهتز أوتاره . الذبذبة الأدنى هي التي يساوي نصف طولها الموجي المسافة بين اللوحين بالضبط ، وتتلو ذلك الذبذبة التي طولها الموجي هو نفس المسافة ثم مضاعفات هذه الذبذبات .

هذه القوة ضئيلة للغاية ، ولكن يمكن قياسها . فالفوتونات ذات الأطوال الموجية القصيرة لا تتأثر بهذه الظاهرة كثيرا ، بينما تتأثر بها ذات الأطوال الكبيرة بقدر أكبر . ولما كانت الترددات طويلة الموجة تقابل كما أقل من الطاقة (٣) ، فان التغير في الطاقة يكون ضئيلا . ولكنه برغم ذلك ممكن الاحساس به ، كقوة التجاذب التي قام بحسابها كاسيمر . وأكثر التجارب اقناعا استخدم فيها ألواحا مقوسة من الميكا ، ومثل هذه التجارب تبين بصورة مباشرة النشاط الفراغي الكمي .

والشيء الوحيد الذي يمنع الجسيمات التقديرية من البقاء هو افتقارها للطاقة ، فعدم اليقين الكامن في العالم الكمي يسمح لها بالظهور العابر ، دون أن يتكلف الكون شيئا مقابلها . أما اذا كان للجسيم أن يتحول لجسيم حقيقي ، فلابد من طاقة تدفع مقابل ذلك . والمثال الواضح لهذه العملية نراه في المعجلات ، حين يتصادم زوج من البروتونات عالية السرعة ، فينتج عن التصادم جسيمات تسمى البيونات (٤) ، وهي ليست

ومن الوسائل الأخرى لانتاج طاقة تمد الفراغ الكمي هي خلق مجال كهربي قوي بين اللوحين ، ولا يؤثر ذلك في الفوتونات التقديرية ، ولكن في الالكترونات وغيرها من الجسيمات التقديرية المشحونة الموجودة بين اللوحين . فمع مجال كهربي بالقوة المناسبة ، ستظهر الكترونات حقيقية من الفجوة بعد أن أمدها المجال الكهربي بالطاقة اللازمة لبقائها .

لكن الطاقات الكهربية اللازمة أعلى بكثير مما يمكن لتجربة عملية أن تحققه ، الا أنه يمكن خلق مجال عرضي بالقوة المناسبة من تصادم عنيف بين نواتي ذرتين ثقيلتين . وينتج هذا لحظيا كرة متماسكة مركزة من عشرات البروتونات ذات الشحنة الموجبة . والمجال الكلي الناتج من مثل هذه الكرة من البروتونات،يقترب في قوته من المجال المطلوب لانتاج أزواج من الالكترون والبوزيترون (نقيض الالكترون) بالقرب من سطح الكرة . وقد أجريت تجارب من هذا القبيل ، ولا تزال نتائجها قيد التحليل .

ورغم أن المجال الكهربي هو السبب وسيلة واضحة لاثارة الفراغ ، فان المجال التجاذبي يمكنه أيضا أن ينفذ الفكرة . فأغلب الثقوب السوداء هي ذات أقطار عدة كيلو مترات على الأقل ، ولكن يتصور أنه خلال الانفجار العظيم تكونت ثقوب سوداء بحجم نواة الذرة . وبقدر صغر الثقب الأسود ، تكون شدة تشوه الزمكان بالقرب منه (الواقع أن الزمكان يجب أن يتقوس بعنف أشد حتى يستوعب الثقب الأسود الصغير بداخله) . وشدة تشوه الثقب الأسود تعني وجود مجال تجاذبي شديد ، وقد بين ستيفن هوكنج أن المجال التجاذبي المهول بالقرب من الثقب الأسود،يمكنه اثارة الفراغ الكمي لينتج جسيمات حقيقية بدفع مقابلها من الطاقة التجاذبية للثقب . وسوف تتبخر الجسيمات من منطقة الثقب الى الفضاء خارجه ، بينما يفقد الثقب كتلته تدريجيا الى أن ينفجر الى مخلفات من الجسيمات دون الذرية (٥) .

ومثل آخر للمجال التجاذبي الفـــائق هو الانفجار العظيم ذاته . فالحسابات تبين انه خـــلال ١٠$^{-٢١}$ من الثـانية الأولى كانت الظروف الكونية من التطرف لدرجة تفي بخلق متواصل من الجسيمات . ويعني هذا خلق جسيمات حقيقية من الطاقة التجاذبية للكون المتمدد ذاته . ويميل المرء الى أن يعزى أصـــل المادة في الكون لهـــذا الخلق من فراغ الفضاء . الا أن هناك ثغرة .

الأجســـام المضـــادة

لمائة عام مضت ، لم يكن أحد يسأل عن أصل المادة . فالفلكيون كانوا يعتقدون ان الكون سرمدي . والى عشرين عاما كانت الاجابة أن الكون قد نشأ من انفجار عظيم ، وأن المادة كانت موجودة منذ البداية . واليوم لدينا تفســير فيزيقي محتمل لأصـــل المادة . ولكن لنجاح هـــذا التفسير ، يجب أن نعرف شيئا عن الأجسام المضادة ، والرد على لغز اختفائها عن عالمنا المرئي .

وقد تبعت فكرة الأجسام المضـــادة من أهم تقدم علمي في القرن العشرين ، النظرية النسبية والنظرية الكمية . فقبلهـا كان من المفترض أن المادة لا تخلق من العدم ولا تفنى ، بمعنى أن حصيلة الكون من المادة مقدار ثابت . ولكن آينشتين في نسبيته الخاصـــة غير من هذا المفهوم تماما ، فقد بين بمعادلته الشهيرة بين الطاقة والمادة : ط = ك × ع^{2} أن الكتلة هي صورة من الطاقة . فجسيم كالالكترون يمكن النظر اليه كتكثف مركز من الطاقة . ويمكنك الحصول على قدر كبير منها من كتلة صغيرة ، لأن العامل (جـ) في المعادلة هو سرعة الضوء ، وقد مر عليك مقدار كبره (٣٠٠ الف كيلو متر في الثانية) .

ولأن الطاقة تظهر في صـــور متعددة ، يمكن للمادة أن تتحول ، مثلا الى طاقة حرارية . وقد أيد هذا الرأي دراســـة كتل الجسيمات النووية . فنواة الأكسوجين مثلا تحتوى على ثمانية بروتونات ومثلها من النيوترونات ، وحاصل جمع كتل هذه الجسيمات منفردة يقل عن كتلة نواة الأكسوجين ، أي عن مجموع كتلها وهي محتواة في النواة ، بمقدار ١٪ . فأين ذهب الفرق ؟ التحليل هو أنه تحـــول الى طاقة تربط هذه الجسيمات معا . ونعلم اليوم أنها بالضبط الطـاقة التي تمد الشمس والنجوم بالوقود اللازم لحياتها .

وعلى الرغم من اهمية افكار آينشتين ، فانه لم يفترض مباشرة أن جسيمات بأكملها قد تختفي (أو تظهر) عن طريق تبدل الطاقة في صور مختلفة . فالبروتون قد تقل كتلته داخل النواة عنه وهو منفرد ، ولكنه لن يتلاشى كلية . ان من افترض ذلك هو بول ديراك Paul Dirac عـــام ١٩٢٠ .

كان ديراك مهتما بالجمع بين الأفكار الكمية الحديثة والنسبية . فرغم أن النظرية الكمية كما طورها شرودنجر وهايزنبرج وآخرون في ١٩٢٠ قد نجحت بشكل منقطع النظير في تفسير سلوك الالكترونات في الذرة ، كتقييدها في مستويات محـــددة من الطاقة ، فانها لم تتفق مع افكار آينشتين . وعلى وجه الخصوص ، فالتحول بين الطاقة والمادة طبقا لمعادلة آينشتين لم تتوافق مع النظرية الكمية .

وقد تم التوفيق بين هاتين النظريتين العظيمتين على يد ديراك ، عام ١٩٢٩ . ومركز الثقل في عمل ديراك هو معادلة بديلة لمعادلة شرودنجر في وصف حركة الالكترون على أنها حركة موجية . وقد تضمنت معادلة ديراك المعادلة الموجية لشرودنجر والأفكار النسبية عن الحركة ، وعـــلاقة الطاقة بالمادة . ولكن ظل هناك أمر دقيق لا يمكن تجاهله .

ان معادلة آينشتين في الواقع ليست بالنص المذكور تماما ، بل هي على الصورة ط^{2} = ك^{2} × جـ^{4} ، وبأخذ الجذر التربيعي يعطينا معادلتين وليس واحـــدة ، حيث ان الجذر التربيعي للعدد الموجب له في الواقع قيمتان ، واحدة موجبة والأخرى سالبة . معنى ذلك ان هناك صورة اخرى للمعادلة هي ط = ــ ك × جـ^{2} .

وقد تجاهل ديراك في البداية الحل السالب ، حيث انه يتضمن طاقة سالبة للالكترون ، وهو ما بدا أمرا لا معنى له ・ ولكن وجوده ظل محيرا له ، اذ لم يفهم بالمرة لماذا يشع الكترون موجب الطاقة طاقة على هيئة فوتونات ، وبذلك يتحول الى حالة من طاقة سالبة (٦) ・ لو أتيح ذلك استمر الالكترون في بث الطاقة والنزول بمستوى طاقته بلا نهاية ، ولو صحت هذه الصورة لما كان لأية مادة مجال للاستقرار ・

ثم لاح حل لديراك مبنى على صورة خيالية نعلم الآن أنهـــا غير صحيحة ولكننا سنقص القصة كما جرت من أواخر العشرينات الى أوائل الثلاثينات ، لنبين أنه حتى النماذج غير الصحيحة تماما يمكن أن تساهم في بحثنا عن الحقيقة ・

قبل عدة أعوام،اقترح ولفجانج باولي Wolfgang Pauli مبدأ المعروف باسم « مبدأ الاستبعاد لباولي Pauli exclusion principle » الذي يذهب الى أن تفسير بعض خواص الالكترونات يمكن أن يتم لو افترضنا أنها ذات ميل للعزلة ، فلا يمكن لها أن تتقارب زيادة عن حد معين ・ وبهذا المبدأ يمكن تفسير احتشاد الالكترونات في مسارات مختلفة حول النواة دون أن تتصادم وهي تحاول الوصول لمستوى الطاقة الأدنى (كما تفعل الطائرات حين تحتشد حول مطار مزدحم في انتظار الهبوط) ・ وقد طبق ديراك مبدأ الاستبعاد على مشكلة الطاقة السالبة،متسائلا : هل يمكن أن تكون هذه الطـــاقة ممتلئة بالفعل بالالكترونات ؟ فمبدأ باولي سيمنع الالكترونات ذات الطاقة الموجبة عندئذ من الهبوط في الطاقة السالبة ・ ولكن هذا التصـــور كان يضم اعوجاجا غريبا ، فنحن لا نرى مثـــل هذه الالكترونات ذات الطاقة السالبة ، واستخلص ديراك من ذلك أنها يجب أن تكون مرئية ・

وعلى الرغم من الخيال الجامح في تصور ذلك البحر غير المرئي من الطاقة السالبة المليء بالكترونات حقيقية (غير تقديرية) ، الا أنه أدى بديراك الى توقع لا يقل جموحا ・ لنفترض أن أحد الالكترونات المفترضة

قد امتص قدرا من الطاقة (فوتون مثلا) يمكنه من الارتفاع الى الطاقة الموجبة ، بحيث يصبح مرئيا ، انه سيخلف مكانه فجوة ، هذه الفجوة في الواقع تتمثل في جسيم له نفس كتلة الالكترون ، الا أنه ذو شحنة موجبة (تعبر عن اختفاء الالكترون ذي الشحنة السالبة) ، بمعنى أنه سيكون جسيما يمثل صورة معكوسة للالكترون ، ومن ثم فقد أعطاه اسم « بوزيترون » ・

ولم يكن أحد الى ذلك الوقت قد لاحظ وجود البوزيترون ، وكان الجسيم الوحيد ذو الشحنة الموجبة هو البروتون ، ولذا فقد تساءل ديراك ان كان هو الصورة المعكوسة للالكترون ، رغم الاختلاف في الكتلة بينهما ・ ولكن الفيزيائي الأمريكي كارل اندرسون Carl Anderson عثر عليه في ١٩٣٢ بينما هو يدرس الأشعة الكونية ・ هذه «الأشعة» (٧) التي تمطر بها الأرض هي في الواقع جسيمات ذات طاقات عالية تتسبب عن كل أنواع الجسيمات الثانوية دون الذرية عند اصطدامها بجو الأرض ، أحد هذه الجسيمات كان له انحراف في الاتجاه المضاد لاتجاه الالكترون ، وان كانت له نفس كتلته ، ولم يعد في ذلك من شك في أنه الكترون موجب الشحنة ، أو البوزيترون ・

وأدت التصحيحات التالية لأعمال ديراك الى الغاء فكرة بحر الطاقة السالبة ، حيث اتضح أن قواعـــد ميكانيكا الكم تمنع الالكترونات من الهبوط الى طاقة سالبة ・ فالصورة التي استنبط منها ديراك وجود المادة المضـــادة كانت خاطئة ، ولكن الحقيقة لم تكن في الصـــورة ، بل في المعادلات ، والحل « المعكوس » للصورة الكمية لمعادلة آينشتين كان يسمح (بل في الواقع يتطلب) وجود الجسيمات ذات الشحنات المضادة ・ بل انه ليؤكد أن هذا صحيح لكافة الجسيمات ، فكل جسيم لابد وأن له جسيما مضادا ، أو نقيض الجسيم ・ وعلى ذلك فلابد من وجود البروتون المضاد ، ونيوترون مضاد ، وهكذا ・ هذه الجسيمات في مجموعها تسمى « المادة المضادة antimatter » ・ واكتشف بعد الحرب الثانية البروتون المضاد وغيره من جسيمات مضادة في الأشعة الكونية ، كما تنتج حاليا

من كافة مختبرات الجسيمات فى العـــالم ، بل وتخزن باقتناصها فى مجالات مغناطيسيـــة .

وحصـــل كل من ديراك واندرسون على جائزة نوبل (٨) ، وفى خطاب الجائزة عام ١٩٣٣ قدم ديراك اقتراحا جسورا آخر ، قائلا انه من قبيل الصدفة البحتة أن كانت الأرض مصنوعة من تفوق الصورة المألوفة لنا من المادة على نقيضتها ، وانه يمكن تخيل أن نجما آخر فى مكان ما يكون مصنوعا من المادة المضادة ، فيكون لدينا نجوم مضادة ، وكواكب مضادة ، بل وأيضا ، بشر مضادون .

ورغم انه لم تلاحظ الجسيمات المضادة حتى الآن الا فى صـــورة منفردة ، الا أنه ليس من ناحية المبدأ ما يمنع من أن تتحد بصورة شبيهة للذرات المألوفة ، مكونة لذرات مضادة ، مما يتصور معه عالم كامل من المادة المضادة ، لن يختلف فى فيزيائه عن العالم المألوف لنا . وليس من وسيلة مباشرة تمكننا من ان نعرف على البعد الى أية صورة ينتمى نجم من النجوم .

وفى المقابل ، فانه ما أن تتلاقى المادة مع نقيضتها ، حتى تكشف عن هويتها . فتولد زوج من الالكترون والبوزيترون نتيجة امتصاص الفوتونات على الوجه الذى توقعه ديراك يمكن أيضا ان ينعكس ، اذ يتسبب تلاقيهما فى فنائهما المشترك ، وتتحول طاقاتهما الى فوتونات ، تبلغ درجة طاقتها من الشدة لدرجة اعتبارها لأشعة جاما . لهذا السبب فان وجود الجسيمات المضادة على سطح الأرض ، بما فى ذلك ما يتولد عن الأشعة الكونية ، هو وجود مؤقت بطبيعته .

وحقيقة امكانية تولد المادة ونقيضتها من الطاقة (ليس بالضرورة من الأشعة الكهرومغناطيسية) يفتح الباب امام تفسير نشأة المادة التى صنع منها الكون . فكما رأينا ، لقد استثار الانفجار العظيم عمليات قادرة على انتاج كميات مهولة من الطاقة ، وان قدرا من هذه الطاقة قد استنفد فى تكوين ازواج من الجسيمات ونقائضها . وعلى ذلك فليس من ضرورة ان نذهب الى أن المادة كانت موجودة منذ البداية كمجرد رجم بالغيب .

موجودها يمكن أن يعزى لعمليات تمت فى المراحل المبكرة للكون . ولكنه بما أن المادة ونقيضتها تتكونان معا ، فان هذا يؤدى الى تصور عوالم مضادة نشأت معـا ، وان المادة ونقيضتها موجـــودتان بشكل متداخل فى الكون .

ونظرية الكون متماثلا بهذه الصورة مثيرة للخيال ، وقد أوحت عام ١٩٦٠ للفلكى الكونى السويدى هانز الفين Hannes Alven بكتابه « المادة ونقيض المادة » . ولكن هذا التماثل المغرى تواجهه عقبة كئود ، فالحساء المفترض فى الكون البدائى المكون من المادة ونقيضتها سوف تتور فيه عملية فناء جماعية نتيجة تلاقى كل جسيم بنقيضـــه بحيث لن يتبقى شىء يذكر .

وقد حاول بعض الفلكيين البحث عن آليـة مقبول يسمح بتجمع كل نوع من المادة مع بعضه بحيث تكون التجمعات منعزلة على أبعاد تحول دون فنائها المشترك . والأبعاد المتصورة هى الأبعاد المجرية ، حيث ان المجرات توحى بأنها تجمعات منعزلة يفصلها فضاء ساحق (٩) . لكن ميكانيزم مقنعا لم يتم التوصل اليه على الاطلاق .

وفى نفس الوقت تلوح ظلال كثيفة من الشك فى وجود تجمعات من نقيض المادة فى اى مكان من الكون . والشواهد على ذلك استخلصت من نتائج قياس اشعاع جاما بواسطة الأقمار الصناعية ، فأشعة جاما لا تخترق الغلاف الهوائى للأرض ، ولكن بواسطة أجهزة مركبة على الأقمار الصناعية يتم مسح هذا الاشعاع فى أرجاء الكون ، وقد سجل الاشعاع بالفعل فى مركز مجرتنا ، درب التبانة ، وفى أجزاء أخرى بالقدر الموحى بحدوث فناء نتيجة تلاقى الجسيمات المضادة ، ولكنه من الصغر بحيث ان نسبة المادة المضـــادة المتبقية فى مجرتنا لا تقدر بأكثر من واحـد فى المليون .

وحتى هذا التقدير قد يكون مبالغا فيه ، حيث ان قدرا لا بأس به من اشعاع جاما يلوح بأنه نتيجة تلاقى الالكترونات بيوزيترونات مخالفة

حديثا،عن طريق الخلق المزدوج الناتج عن الطاقة العالية فى قلب المجرة؛ وليس هناك أى دليل على وجود مادة مضادة متخلفة عن نشأة الكون .

وقد طبق نفس المنطق على مجرات أخرى . فالمجرات فى عصرنا يحدث أن تتصادم ، ومن الطبيعى أن يكون تصادمها فى العصور السحيقة أكثر ، نتيجة تزاحمها فى الكون . ولو كان التصادم قد تم بمجرات ذات مادة متضادة ، لكان الكون اليوم مغمورا بقدر كبير جدا من اشعاع جاما ، وهو ما تكذبه المشاهدات . وأصبحنا مواجهين بلغز . اذا كانت قوانين الفيزياء محايدة بين المادة ونقيضتها ، فكيف انتهى بمادة من نوع معين؟

اين اختفت المادة المضادة ؟

احد الحلول الممكنة لحل هذا اللغز جاء من كشف لفيزيائيين امريكيين عام ١٩٦٤ ، هما فال فيتش Val Fitch وجيمس كرونن James Cronin (١٠)·فقد كانا يبحثان فى تحلل جسيم يسمى ميزون ك K meson . وهو جسيم غير مستقر سرعان ما يتحلل الى عدد من الجسيمات والجسيمات المضادة . وقد وجد العالمان أن التحلل لا يكون متماثلا بالنسبة لنوعى الجسيمات . ورغم أن الفرق ضئيل الا ان دلالته عميقة ، فهو اول شاهد على أن قوانين الفيزياء ليست محايدة بالنسبة لنوعى المادة .

ولهذا الكشف تداعيات مثيرة . فالى عام ١٩٦٤ لم يكن يبدو من المحتمل وجود طريقة لكائنات عاقلة من نوعين متضادين من المادة ، يمكن التعرف على هذه الحقيقة بالاتصال فيما بينها ، او معرفة أيهما ينتمى الى هذا النوع أو ذاك . ولكن الآن ، ومن خلال نتائج تحلل ميزون ك فى معاملهما يمكنهما معرفة ذلك . أليست معلومة مهمة اذا كانا يخططان للقاء بينهما ؟

والأهم من ذلك أن هذا التحيز لنوع من المادة قد يمكن من تعليل سبب عدم التساوى بين النوعين فى مرحلة الانفجار العظيم . ويتم ذلك على الوجه التالى : فى البدء كانت الطاقة ، ومنها خلقت ازواج الجسيمات-

وبسبب عدم التماثل الذى تم كشفه ، فانه مقابل كل بليون من جسيم يتصور بليون وواحد من الجسيم المضاد . ومع برودة الكون ، تتفانى البلايين من الجسيمات والجسيمات المضادة ، تاركة هذا الفرق الضئيل باقيا . هذه الجسيمات المتبقية كانت مغمورة فى اشعاع جاما . بليون فوتون منها مقابل كل جسيم من المادة . هذا الاشعاع برد بدوره مع برودة الكون خلال تمدده ، متحولا الى اشعاع حرارى عادى. والواقع،فان الخلفية الاشعاعية الكونية هى الأثر المتبقى من اشعاع جاما الذى غمر الكون فى بدايته .

ولو كان هذا التصور صحيحا ، فانه لن يفسر فقط كيفية تكون مادة الكون ، بل أيضا سيعلل درجة حرارة الخلفية الاشعاعية الكونية . فهذه الدرجة تتحدد بنسبة الفوتونات للذرات ، والى الآن ، فان هذه النسبة هى من اهم واغرب القيم فى علم الكونيات على الاطلاق . فلقد وجدت أن قيمتها العددية هى بليون لواحد ، بالضبط بالنسبة التى تشير اليها الحسابات من التحيز الضئيل بين المادة ونقيضها .

ولو كانت النظرية سائرة فى طريق صحيح . فان وجود المادة دون نقيضتها فى الكون الحالى ليس هو التوقع الوحيد ذا المغزى الفلكى ، لان ما بنى يمكن أيضا أن يهدم . فنفس عدم التماثل الذى سمح للمادة ان تخلق من الطاقة خالية من نقيضتها ، يسمح أيضا باختفائها . فالنظرية تتوقع ان هذا ممكن لان البروتون ، والذى كان لعهد قريب يعتبر جسيما غير قابل للتحلل ، سوف يتحلل الى البوزيترون بعد فترة من الوقت بالغة الطول (10^{30} من السنوات) . ولو صح التوقع ، فان ذلك يعنى أن مادة الكون جميعها مصيرها للتبخر ، وان كان ذلك بعد وقت طويل . فحيث انه يوجد الكترون لكل بروتون ، فان هذه الالكترونات مآلها التصادم مع البوزيترونات الناتجة عن التحلل المشار اليه ، والفناء .

هذا التحلل فى حد ذاته عملية احصائية ، شأنها شأن كافة العمليات الكمية ، بمعنى أنه وان كان متوسط عمر تحلل البروتون طويلا لهذه الدرجة ، فانه مع العدد المهول منها فان هناك احتمالا لتحلل واحد أو

اثنين كل عام · وقد أجريت تجارب للبحث عن أية بادرة من هذا التحلل في خزانات مائية بنيت على عمق من سطح الأرض ، ولكنها لم تحقق نجاحا للآن ·

ولو كانت التصورات السابقة صحيحة ، فان المادة المضادة تكون ذات وجود من الدرجة الثانية ، مجرد حاصل ثانوى ناتج عن تصادم الجسيمات عالية الطاقة · وحيث انه لم تتأكد هذه التكهنات بوسائل مباشرة ، فان لبقى قدر من المادة المضادة عن بدء الكون يظل مفتوحا · والمكان المتاح للبحث عن ذلك هو الأشعة الكونية ·

وقد تم قياس كمية كبيرة الجسيمات المضادة فى الأجواء العليا من الغلاف الجوى عن طريق أجهزة مركبة فى بالونات · هذه الجسيمات تعزى فى أغلبها للتصادم بين البروتونات فى الأغوار السحيقة من الفضاء بين النجمى · ولكن لغزا آخر محيرا يلوح لنا · فعدد البروتونات المضادة أكبر بكثير من أن يعلل بذلك عند مستويات الطاقة المنخفضة · وأحد التفسيرات البديلة هو أنها تنجت عن الفناء الانفجارى لثقوب سوداء مجهرية تحت تأثير هوكنج الذى سنعرض له فى الفصل التاسع · ولكن التعليل الآخر هو أنها أثر مما كان موجودا منها خلال بدء نشأة الكون · وليس لأحد أن يقطع بتعليل لأصلهما الى الآن ·

اما الكشف الذى لو تحقق يكون دليلا على وجود مادة مضادة باقية من منشأ الكون فهو نواة ذرة مضادة لمادة أثقل من الهيدروجين ، كأن تكون نواة هليوم مضاد · والهليوم هو العنصر التالى للهيدروجين فى الوفرة فى الكون ، ولذا فمن المعقول أن تكون نواته المضادة هى الأكثر احتمالا بعد نواة نقيض الهيدروجين (وهى مجرد بروتون مضاد) ، وتتكون من بروتونين مضادين ونيوترونين مضادين · وليس لمثل هذه النواة أن تتكون عشوائيا من تصادمات جسيمات عالية الطاقة فى الفضاء· فالهليوم المعتاد يتم تخليقه فى التفاعلات النووية داخل النجوم ، وقد كان تخليقه بوفرة فى عصر الانفجار العظيم · فلو أن نواة واحدة من الهليوم المضاد تم اكتشافها لأعطت احتمالا بوجود نجوم مضادة ·

ولسوف يبدأ البحث عن الهيليوم المضاد فى أواخر التسعينات ، بواسطة جهاز يسمى « أرمسترونغ Armstrong » ، سوف يركب فى احدى محطات الفضاء الأمريكية · وسيزود هذا الجهاز بمغناطيسات قوية مبردة الى قريب من الصفر المطلق ، تسبب انحناء الجسيمات المشحونة عالية السرعة من المادة والمادة المضادة التى سيمكن التمييز بينها بواسطة كاشفات قوية ، حيث سيكون انحناء المادة فى اتجاه مضاد لاتجاه انحناء نقيضتها ·

ولو أن النجوم النقيضة موجودة ، فسيستتبع ذلك وجود ما هو أقل من النجوم ، كالنيازك والمذنبات والكويكبات ذرات من الغبار الكونى ، مصنوعة من المادة المضادة · ويكون التساؤل المثير هو ماذا يحدث لو أن شيئا من هذا القبيل دخل النظام الشمسى ؟

ليست الفكرة ممتنعة بالمرة ، فحجم حبة من الفاصوليا من المادة المضادة كفيل باحداث انفجار يقارب قنبلة نووية ، وهو أمر لن يمر بلا انتباه · ولكن من الغريب أن انفجارا من هذا القبيل قد حدث فى ١٣ يوليو عام ١٩٠٨ فى منطقة تنجسكا Tunguska بسيبيريا ، كان قد عزى لسقوط نيزك ، ولكن بعثة عام ١٩٢٨ فشلت فى وجود أى أثر لمثل ذلك النيزك رغم الدمار الهائل الذى عم المنطقة بأشجارها وغاباتها · وتعددت التكهنات لتبرير الحادثة من اقتراح بسقوط نيزك ثلجى (محتمل تماما) ، الى مرور ثقب أسود (غير محتمل بالمرة ، على الأقل لعدم وجود أثر لعبوره الأرض من الناحية المقابلة) · وقد اقترح ويلارد ليبى Willard Libby الحائز على جائزةنوبل لاختراع وسيلة الكربون المشع لتحديد الأعمار المادة المضادة كتعليل للحادثة · ولو كان قوله صحيحا لكان هذا مؤشرا بوجود المزيد منها ، ولكن ليس لك أن تجزع ، فالدلائل ضد هذا الاقتراح كثيرة ·

منشأ الزمن والمكان

ان حقيقة مقدرة الفيزياء الحديثة للجسيمات على تقديم تفسير مقنع لأصل المادة هو انجاز رائع · ولكنه يفشل فى تقديم تفسير لأصل الكون

ككل ، حيث ان الكون يحتوى على ما هو أكثر من المادة • فهناك أيضا المكان والزمن ، او الزمكان • ولقد رأينا ان الطاقة اللازمة لخلق المادة يمكن ارجاعها الى المجال التجاذبي للكون • ولكن لم نتوقف هناك ؟ بعض الناس يجادل بالقول بأن هذا ليس مثلا للخلق من العدم ولكنه مجرد الرجوع بالتعليل الى الجاذبية • ويظل التساؤل عن المصدر قائما • ولكننا هنا سنواجه بمعضلة ، فالجاذبية ليست مجالا موجودا فى الزمكان ، بل انها هى الزمكان • فالنسبية العامة تعامل الجاذبية معاملة هندسية صرفة ، أى على انها تشكل للزمكان • وهكذا اذا كانت الجاذبية قد خلقت المادة ، فيجب علينا القول بأن الزمكان هو الذى خلقها ، ويرحل التساؤل الى كيفية ظهور الزمكان •

ويلجأ كثير من الفيزيائيين الى العزوف عن التفكير فى هذا التساؤل، تاركين اياه لرجال الدين • ولكن آخرين يجادلون فى الأمر ، ذاهبين الى انه يجب علينا ان نتوقع ان تكون الجاذبية ، وبالتالى الزمكان ، أشياء خاضعة للظواهر الكمية كغيرها من الأشياء فى الطبيعة • وفى هذه الحالة ، اذا كان الظهور التلقائى للجسيمات أمرا لم يعد مستغربا ، فلماذا لا نتقبل نفس الشىء للزمكان ؟

ويتطلب وضع وصف مرض لهذه العملية نظرية رياضية تضم الجاذبية والكم معا ، وهو ما ليس متاحا حتى الآن • ولعل نظرية كهذه يمكن التوصل اليها فى اطار توحيد قوة الجاذبية مع غيرها من قوى الطبيعة • ولكنا نعرف بالفعل ما يمكننا من القاء الضوء على أهم خصائص نظرية من هذا القبيل ، ولبيان لماذا يمثل تحقيق هذا التوحيد النهائى مشكلة رياضية عويصة •

احدى المصاعب متعلقة بمدى العمليات الكمية التجاذبية • فلأن الجاذبية هى أضعف القوى المعروفة فى الطبيعة الى الآن ، فهى لا تلعب دورها على المستوى الذرى أو حتى نواة الذرة ، وهو ما تظهر فيه بوضوح كامل الخصائص الكمية للقوى الأخرى ، بل على مستوى قد يصل الى $١٠^{-٣٠}$ من هذا المستوى ، وعلى مسافة أقل من $١٠^{-٣٠}$ من السنتيمتر ،

وهو مايعرف بمسافة بلانك Plank's distance ، نسبة الى ماكس بلانك واضع النظرية الكمية • والمقياس الزمنى المقابل لهذه المسافة ، وهو ما يعتبر الوحدة الكمية الأساسية للزمن ، هو الزمن اللازم للضوء ليعبرها ، وهو $١٠^{-٤}$ من الثانية • والمسمى زمن بلانك Plank's time ويعتقد بعض الفيزيقيين انه عند هذه المسافة يفقد الزمكان صفته كمتصل سلس ، ويتحول الى شىء رغوى • وعلى وجه الخصوص • فان « فقاقيع » من الزمكان ، التقديرى ، يمكن ان تظهر وتختفى على نفس نمط ما تفعله الجسيمات التقديرية •

فعلى مستوى بلانك ، يمكن للزمكان نفسه ان يتحول الى التلقائية والخروج عن روابط السببية ، من خلال التذبذبات الكمية • ولا يزيد نطاق كل زمكان عن مسافة بلانك ، ولا يدوم الا لزمن بلانك • وبقول أكثر دقة ، فان مفهوم الزمن فى سريانه يتلاشى عند هذه المسافة الزمنية ، فالزمكان لا يكاد يظهر حتى يختفى • وقد كان الشغل الشاغل للفلكيين هو امكانية ان (زمكان) على شكل الفقاعات التى تنشأ فى الفراغ من لاشىء، او كونا ، تقديريا ، بحجم متناه فى الصغر ، يمكنه تفادى الفناء اللحظى المحتوم ، ليتحول الى الكون المستقر الذى نعايشه • ويوجد آلية مقبول لذلك فيما يسمى السيناريو التضخمى infalatory scenario للكون •

ولكى تنجح مثل هذه الحيلة ، فان الكون الوليد يجب ان يرفع من حجمه من العدم تقريبا الى مقياس ملموس • وعليه أن يقدح زناد هذه العملية بأسرع وقت ، خلال جزء الثانية التى يسمح فيها للتذبذبات الكمية ان تكون موجودة • وعليه لتحقيق ذلك الهدف غير العادى تفادى حاجز الجاذبية التى تحاول سحقه مرة أخرى الى العدم • ان المطلوب هو قوة طاردة ذات حجم خرافى ، يمكن بها الخروج من قبضة الجاذبية ليأخذ الكون طريقه نحو التمدد •

نعود الآن الى مفهوم الفيزيقيين للفراغ على أنه ليس مرادفا للخواء التام . فقد اتضح أن الفراغ الكمي يمكن أن يستثار الى مستويات أعلى من الطاقة . والفراغ المستثار سيبدو كالفراغ الحقيقي (بمعنى أنه ظاهريا مفرغ من الجسيمات الدائمة) بينما هو متأجج بتفجرات من الطاقة التي لا تدوم الا للحظات جد ضئيلة ، مطلقا طاقته في شكل جسيمات خفيفة . وخلال وجوده ، فالفراغ المستثار سيكون له خاصية جد غريبة ، ضغط سالب هائل . وفكرة الضغط السالب يمكن تمثيلها بمط زنبرك (في مقابل ضغطه) ، فهو يجذب للداخل ، بدلا من أن يدفع للخارج . وقد يكون من المتصور أن كونا محتويا على ضغط كهذا يتحطم تحت تأثيره ، ولكن هذا القول ليس دقيقا ، ذلك أن فرق الضغط هو المؤثر . فالأسماك التي تعيش في أعماق البحار تعيش في وسط من ضغط هائل ، ولكنها لا تنسحق لأن هذا الضغط متساو من كل الاتجاهات .

وعلى الرغم من عدم توافر أية قوة ناجمة عن الضغط السالب ، فان له تأثير تجاذبي ملحوظ . فطبقا للنسبية العامة ، فالضغط مصدر للجاذبية ، بالاضافة للجاذبية الناشئة عن المادة أو الطاقة . وفي الأحوال العادية فان مساهمة الضغط في المجال التجاذبي كم مهمل ، فالضغط داخل الشمس مثلا يساهم بجزء من مليون جزء في قوتها التجاذبية . أما في الفراغ الكمي المستثار ، فالجاذبية الناشئة عن هذا الضغط لها السيادة على تلك الناتجة عن الطاقة والمادة . وحيث أن هذا الضغط سالب ، فان تأثيره يكون سالبا أيضا ، أو في الواقع جاذبية مضادة . وعلى ذلك ، فانه لو حدث احتمال ظهور كون واحد من بلايين البلايين من الأكوان التقديرية في حالة مستثارة ، فان الجاذبية المضادة ستتسبب في القوة الطاردة المطلوبة بالضبط لتندفع بالفضاء للتمدد في شكل انفجاري عنيف .

ولكي نأخذ فكرة عن مدى عنف ذلك الدفع للخارج ، نتصور أن الكون يتضاعف كل $١٠^{-٣٥}$ في هذه المرحلة التضخمية المنيفة ، ويستمر هذا التضاعف طالما كان الكون في قبضة ذلك الدفع الخارجي الهائل . هذا التضاعف يسمى الزيادة الأسية exponential ، وهي تؤدي الى معدل نمو كبير جدا (١٦) . والعالم المرئي الذي نعايشه هو نتيجة لهذا المعدل الأسي للتزايد .

ولم تستمر هذه المرحلة التضخمية سوى فترة وجيزة . فحالة الفراغ المستثار بطبيعتها غير مستقرة ، وسرعان ما تتلاشى . ونتيجة لذلك فقد أطلقت الطاقة الهائلة المختزنة في الفراغ المستثار على صورة حرارة وجسيمات للمادة . وما أن يتلاشى الفراغ المستثار ، حتى تختفي معه قوة الدفع للخارج الكونية ، ولكن كمية الحركة لهذا التمدد تجعله يستمر باقيا ، مسببا العنف الانفجاري الذي نربطه بالانفجار العظيم . وباختفاء الضغط السالب تستعيد الجاذبية دورها المعتاد ، لاعبة دور فرملة للتمدد ، مسببة نقص معدله الى المعدل الذي نشاهده اليوم .

ولا تقتصر أهمية التمدد التضخمي الفاجيء على مجرد الزيادة الوهمية في الزمكان في فترة متناهية الصغر ، بل انه أيضا سيمحو ما قد يكون عليه توزيع الطاقة من عدم تساو ، بحيث توزع توزيعا عادلا خلال هذا التمدد التضخمي العنيف . وعلى ذلك ، فلنا أن نتوقع أن يخرج الكون من المرحلة التضخمية بتوزيع متساو بقدر كبير في المادة وفي الحركة . فما الذي توحيه لنا المشاهدات ؟

كما قدمنا في الفصل الرابع ، فقد ظلت الخلفية الكونية الاشعاعية منذ نشأة الكون كما هي لم تتغير تقريبا ، وهي على ذلك شاهد يحتوي على بصمات لشكل الكون البدائي . والاشعاع متساو بشكل يثير الدهشة، فلا تتغير شدته الا في حدود جزء من مائة ألف جزء . ومن الواضح أن الكون الذي تمخض عنه الانفجار العظيم كان منتظما بقدر كبير ، وهو في الواقع قد ظل منتظما على مستوى كبير للآن .

وفي ظل نموذج للانفجار العظيم لا يحتوى على مرحلة التضخم ، يكون هذا الانتظام أمرا مستغربا ، فمن تراه كان المسئول عن ضبط الانفجار بتلك الطريقة التى تجعل كافة أجزاء الكون تتمدد بنفس المعدل فى كافة الأرجاء ؟ وتزداد المعضلة عمقا حين تأخذ الأفق فى الاعتبار ، فكما قدمنا فى الفصل السابق ، فاننا لا نستطيع رؤية أجزاء من الكون وراء حوالى ١٠ بلايين سنة ضوئية ،حيث ان الضوء لما يصلنا منها بعد وفى الماضى ، كانت المناطق المحتواة فى هذا الأفق أصغر نسبيا ، فبعد ثانية واحدة مثلا كان قطره ثانية ضوئية (٣٠٠ الف كيلو متر) فقط .

ويدفع الأمور مزيدا للخلف ، فانه عند فترة تقدر بزمن بلانك كان الأفق قطره مسافة بلانك . والآن ، فطبقا للصورة التقليدية للانفجار العظيم ، والتى يتمدد فيها الكون بمعدل متناقص ، فان حجم الكون الذى نراه الآن كان حجمه حوالى المليمتر بعد فترة زمن بلانك، أى $١٠^{-٣٤}$ مرة قدر الأفق . ولما كان من المستحيل لأى تأثير أن ينتقل بأسرع من سرعة الضوء ، فان هذا الكون كان ، وطبقا لتلك النظرية ، مقسما الى مناطق منعزلة من حيث الرؤية بسبب الأفق ، كل منها بحجم مسافة بلانك ، أى الى $١٠^{٣٢}$ منطقة غير مرئية لبعضها البعض تماما . فكيف أمكن لهذه المناطق ان تتناغم فى حركتها فى غيبة أى اتصال او سببية تربطها ؟

ويحل التضخم هذه المعضلة ، بسبب التمدد الفجائى العنيف الذى وقع بين $١٠^{-٣٥}$ و$١٠^{-٣٢}$ من الثانية . ففى التصور التضخمى كان الكون المرئى حاليا يبلغ من الحجم $١٠^{-٢٦}$ سنتيمترا بعد فترة زمن بلانك ، وهى مسافة فى نطاق سرعة الضوء عند ذلك الوقت . وعلى ذلك فانتظام الكون ليس مستغربا بالمرة فى التصور التضخمى .

وليس حل معضلة الأفق هو المكسب الوحيد من النموذج التضخمى، فهو يحل أيضا لغزا محيرا طال أمده ، متعلقا بمعدل تمدد الكون . فالتمدد الحالى هو اثر من التمدد الذى كان ، وفى النموذج التقليدى كان الكون

يتناقص معدل تمدده منذ البدء ، فلو كان الانفجار أقل قليلا لتهاوى الكون على نفسه مرة أخرى بتأثير الجاذبية ، ولو كان أعنف قليلا لتشتت المادة بما لا يسمح بتكون المجرات . والواقع أنه كان يظن أن الانفجار من الدقة فى شدته لدرجة التوازن الدقيق للجاذبية بين هذين البديلين . وتقدم النسبية رابطة بين معدل التمدد والانحناء المتوسط للكون ، وفى حالة التوازن الدقيق المشار اليه يكون الانحناء صفرا ، ويكون مفلطحا الى حد بعيد .

ومن المثير حساب درجة الدقة التى كان من الواجب تحقيقها ، فبالرجوع الى زمن بلانك (وهو أقل زمن يكون الحديث عنه ذا معنى) ، فان التوازن يكون فى حدود جزء من $١٠^{٦٠}$. هذه الدقة الخرافية بلبلت الكونيين طويلا .

وهنا تتدخل الصورة التضخمية للانقاذ مرة أخرى . فمهما كانت شدة الانفجار ، فتأثيره سيختفى تماما مع الانفجار التضخمى . وعند نهاية المرحلة التضخمية سيكون الكون قد نسى تماما ما كان عليه قبل تلك المرحلة ، ولن تحمل الفترات التالية الا بصمات المرحلة التضخمية . وقد حدث أن الزيادة الأسية فى التضخم قد تولد عنها توازن فى تمدد الكون بالنسبة للجاذبية ، بدرجة أكبر من أن تستطيع القياسات البشر ملاحظتها . ولتقريب الصورة لسبب ذلك نتصور نملة عاقلة على سطح ثمرة عنب ، فهى قد تستطيع بسهولة ادراك أن الثمرة منحنية ، ولكن اذا كانت الثمرة قد انتفخت بما يعادل تضاعفا لـ ٦٤ مرة ، فلن يمكن للنملة أبدا الاحساس بمدى ما أصبح عليه الانحناء .

وبالمثل ، يمكن للتضخم أن يحل جزئيا مشكلة مبدأ ماخ ، وتعليل لماذا لا يكون الكون دوارا . فأى دوران فى البداية سوف يبطأ مع التمدد الكبير ، بالضبط كما تهبط سرعة الزلاق المتزحلقين على الجليد مع مد أذرعهم .

هذه السلسلة من النجاحات تجعل نموذج التضخم محببا للكثير من الكونيين . ولكن النموذج مع ذلك ليس بلا مشاكل ، أهمها على الاطلاق هي مشكلة انتهائه . كيف عاد الكون سيرته الأولى ؟ فلكي ينتج التضخم آثاره يجب أن يستمر الى أن يتضخم الكون ١٠^٥٠ على الأقل . وخلال هذه الفترة تهبط الحرارة تقريبا بنفس المعدل ، فتصل الى ما يقترب من الصفر المطلق . ومعنى ذلك ان الكون يبرد لحظيا تقريبا من درجة حرارة ١٠^٢٧ كلفن الى حوالى الصفر . بعد ذلك يفتح الباب أمام رجوع الكون الى حالته المستقرة غير المستثارة . هذا التغيير ، الذى يشبه بحالة تغير الماء الى بخار سائل ثم الى ثلج ، يحدث فى نهاية الفترة التضخمية بعد أن تفقد قوتها الدافعة . وحتى لا يحدث ذلك بسرعة أكثر من اللازم ، فان النظرية فى صورتها الأصلية ، كما وضعها الان جوث Alan Guth من معهد ماساشوسيتس للتكنولوجيا Massachusetts Institute of Technology اقترحت نوعا من التبريد الفائق تعرضت له مادة الكون

والتبريد الفائق ظاهرة قد تحدث للماء حين يبرد ببطء شديد ، حيث يمكن أن يظل فى حالة السيولة تحت الصفر المئوى بقدر قليل ، الى أن يحدث اى اضطراب يؤدى به الى التجمد . وبالمثل يمكن ان تكون الحالة المستثارة قد ظلت مستمرة مع هبوط الحرارة الى لا شئ تقريبا بسبب التضخم ، وبالتالى تمكن القوة الطاردة من الاستمرار فى نشاطها الى القدر اللازم من الانتفاخ ، ثم يحدث « التجمد الكلى » .

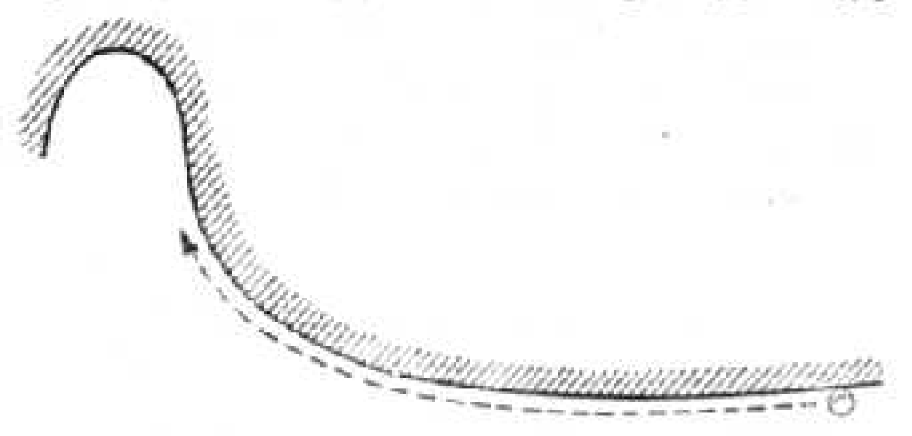
ولن تحدث هذه المرحلة البينية متماثلة فى كافة أجزاء الكون . فبعبارة فضفاضة يمكن القول بأنه تحدث فقاعات عشوائية من هذه الحالة ، وتنمو بسرعة الضوء ، ثم تتجمع معا الى ان تملأ الفضاء . داخل الفقاعة يتوقف التضخم فجأة ، معطيا طاقته لجدران الفقاعة . وحين تتصادم هذه الجدران عالية الطاقة ، تبث طاقتها على صورة حرارة ، معيدة الطاقة الحرارية الهائلة التى سبق أن أخذت من الكون اثناء التضخم . وعلى ذلك يعود الكون بصورة انفجارية عنيفة مرة اخرى الى حالة السخونة ، ولكن بلا قوة طاردة هذه المرة . وبعد هذا التسخين المعاد يمكن للكون أن

يعود للتمدد بالصورة التقليدية المتناقصة المعدل التى بدأها مع الانفجار العظيم ، متماثلا ، وقد تحرر من مشاكل الأفق ومعدل التمدد .

ورغم ان الخطوط العريضة لهذه الفكرة تبدو جذابة ، فان المشاكل مخفية فى تفاصيلها ، خاصة فيما يتعلق بالتصادم بين جدران الفقاعات . هذه الحوادث ستقع عشوائية وبلا ضابط ، ويبدو للوهلة الأولى انها ستنتج نفس عدم التماثل الذى قامت النظرية للتخلص منه . ولم يحدث اتفاق للآن على حل هذه المشكلة التى أصبحت تعرف باسم « الخروج السلس graceful exit » ، ولكن عددا من الاقتراحات قدمت بهذا الشأن .

أحد هذه الاقتراحات هو أن الفقاعات تتضخم بدرجة كبيرة قبل التصادم ، بحيث اننا نعيش فى منطقة من الكون وراء الأفق من مثل هذه الجدران ، وخارج نطاق أية اضطرابات تحدث بسبب هذه التصادمات . واقتراح آخر يذهب الى أنه بدلا من اللجوء لفكرة التبريد الفائق ، فان المرحلة البينية نفسها تأخذ شكل عملية بطيئة .

ولتقريب الصورة ، تخيل كرة مستقرة فى توازن حرج على قمة تل مواجهة لتحدر (الشكل ٢٧) ، عند أى اضطراب تبدأ الكرة فى التدحرج



الشكل (٢٧) : تمثل الحالة المستثارة غير المستقرة الفراغ الكمى للكون فى بدايته كرة موضوعة على قمة منحدر بصورة غير مامونة ، واذا كان الانحدار ضحلا ، فان زمن الهبوط يكون طويلا ، مما يعطى التضخم فرصة للحدوث قبل ان تفقد الطاقة على هيئة حرارة .

ـابطة لقاع الوادي . حيث نصل لحالة الاستقرار · وتقابل قاع الوادي
ـحالة الفراغ المستقر ، بينما تمثل قمة التل الحالة المستثارة · لو تصورنا
ـان الانحدار ليس حادا عند القمة ، فان الكرة ستبدأ التدحرج ببطء ،
ـويقابل ذلك قولنا ان التغير فى طبيعة الفراغ كان طفيفا فى البداية ، رغم
ـان التضخم قد بدأ · ويحوم شك كبير فى أن العمليات الكمية التى تحكمت
ـفى المرحلة البينية قد تصرفت بالفعل على هذه الصورة ·

والتصور التضخمى للكون ما زال في مرحلة الطفولة ، وما تزال
ـالتعديلات جارية عليه · والكثير من التفاصيل معقدة وتعتمد على حساسية
ـالنماذج التى تضمها النظريات · ومن السابق لأوانه الاعلان عن نجاح
ـالنظرية ، الا أنها تحتوى على خصائص تحل غوامض لم تكن لتحل بدونها ،
ـمـا يجعل الاغراء قويا بتصور أن حالة من التضخم قد عاصرت الكون
ـفى نشأته ·

واذا قدر للنظرية التضخمية أن تحقق النجاح ، فانها سوف تقدم
ـلنا ميكانيزم مقنعا لتحول الكون التقديرى الكمى الى الكون المتمدد المألوف،
ـمما يتيح لنا التأمل فى الرأى الدينى فى الخلق من العدم ex nihilo .
ـفقاعة دقيقة من الزمكان تظهر فجأة وبشكل شبحي ليتحقق لها الوجود
ـالدائم نتيجة للاضطرابات الكمية ، بينما يقوم التضخم بالسيطرة عليها
ـومن تتمدد الى حجم مرئى ، بعد ذلك يحدث التجمد الذى يبدأ به انخفاض
ـمعدل التمدد وسط انفجار حرارى ، ومن الحرارة الكونية والجاذبية تخلق
ـالمادة ، ويبرد الكل تدريجيا وينخفض معدل التمدد الى الظروف التى
ـنشاهدها حاليا ·

يبدو اننا كسبنا شيئا من اللاشئ ، فى تعارض مع المبدأ الذى
ـنادى به الفيلسوف لوكريتون بانه « لا شئ يمكن أن يأتى من اللاشئ » ·
ـوكما قال الان جوث ذات يوم : « يقال عادة انه لا يوجد شئ يسمى وجبة
ـبلا مقابل،ولكن يبدو أن الكون هو أكبر وجبة بلا مقابل يمكن تصورها » ·
ـأحقا هو كذلك ؟ ان كل الأشياء الجميلة مآلها للفناء ، والكون ليس استثناء
ـمن ذلك ، فقد تحدد مصيره النهائى مع الثانية الأولى من نشأته ·

هوامش الفصل الخامس

---

(١) مترجم — بتصرف — بواسطة ممدوح الوصلى لمشكلات الفيزياء بصاحبة حين شمس ، الناشر « الفد للنشر والدعاية والاعلان » ٥٦ شارع ٢٦ يوليو القاهرة — (المترجم) ·

(٢) رغم انه ليس المقام لاعطاء تاريخ تفصيلى لتطور الفيزياء الكمية ، فاننا نود أن نؤكد على كافة هذه الأفكار ، مثل المفاهيم غير المتفقة مع المنطق البديهى فى النظرية النسبية ، قد تأكدت من خلال الكثير من التجارب كوسيلة صحيحة فى وصف الطريقة التى يعمل بها الكون · بل ان فشل فيزياء نيوتن فى تفسير نتائج بعض التجارب هى التى أدت لظهور الحاجة لنظريات جديدة ، فالنظرية الكمية تعطى بالفعل وصفا دقيقا لطريقة نشاط الأشياء على المستوى دون الذرى ·

(٣) طبقا لمعادلة بلانك الكمية ، فان كم الطاقة يزداد كلما زاد تردد الموجة ، أى قل طولها الموجى — (المترجم) ·

(٤) تسمى احيانا جزيئات هيجز — (المترجم) ·

(٥) تسمى هذه الظاهرة « اشعاع هاوكنج » — (المترجم) ·

(٦) من المسلم به أن النظم الفيزيائية تميل الى التحول الى مستويات الطاقة الأدنى ·

(٧) اطلاق اسم « الأشعة على الأشعة الكونية » هو من قبيل التجاوز ، فهى ليست أشعة على الاطلاق ، ولكنها جسيمات كما ورد فى المتن ، وهو السبب فى ان الكلمة وردت فى المتن بين علامتى تنصيص اشارة لعدم دقتها — (المترجم) ·

(٨) حصل عليها ديراك عام ١٩٣٣ (مع شرودنجر) ، واندرسون عام ١٩٣٦ — (المترجم) ·

(٩) يتنبأ الفلكيون فى أن توجد « مادة سوداء » تملأ الفضاء بين المجرة ·

(١٠) حصلا معا على جائزة نوبل عام ١٩٨٠ — (المترجم) ·

(١١) يصور اثر التضاعف ، او الزيادة الأسية ، فى القصة الشهيرة لوضع حبة أرز فى أول مربع فى رقعة الشطرنج ، ثم مضاعفتها كل مرة مع المربعات التالية ، فيكون المطلوب فى المربع الأخير ٢ ٦٤ حبة ، أى حوالى ثمانية عشر بليون حبة ، وهو انتاج العالم من القمح لعدة قرون — (المترجم) · وبالمثل فانه بعد ٦٤ من الفترات الزمنية متناهية الصغر المذكورة فى المتن ، فان كونا فى الحجم الذى يصل الى حجم نواة الذرة ثم فى الفترة التالية مباشرة (الخامسة والستين) يصل الى كيلو متر كامل ·

الفصل السادس

... والأخيرة

ربما كانت أهم خصيصة تتميز بها الساعة الكونية المهولة ، هي أنها ما أن تبدأ في العمل حتى تستمر في عملها للأبد دون تدخل خارجي . مستقبلها لا يتحدد الا بماضيها . وفي الفصول السابقة عرضنا لتصور جديد للكون ، فيه المستقبل مفتوح لشتى الاحتمالات ، حيث للعفوية والجدة دور غير منكور . ولكن هناك وجهة نظر معينة يلتقي فيها كلا التصورين ، وهو المتعلق بالمصير النهائي للكون بأكمله . ذلك أنه على الرغم من كون جزء معين منه غير محدد المستقبل قطعيا ، فانه حين نأتي للكل فان قوانين النسبية والكم ليست أقل من قوانين نيوتن حتمية . فان الرؤية المتفحصة لتلك القوانين تبين أن فناء الكون متوقف على طبيعة نشأته .

وكما بينا في الفصل السابق ، فالكون الآن في قبضة جاذبيته الذاتية . ولا يحول بينه وبين الانهيار على نفسه الا القوة التي أدت به للتمدد ، والتي اكتسبها من الدفعة التضخمية بعد فترة وجيزة من ميلاده . الا أن التمدد يتباطأ بالتدريج ، ويدور التساؤل عما اذا كان في طريقه للتوقف ، ثم التحول الى الانكماش . ومن المستحيل بالملاحظة المباشرة أن نؤكد أن هذا هو ما سيحدث (١) . ولكن بعض الآراء ترى ذلك على أسس أشد عمقا . فعلى سبيل المثال ، من المحتمل أنه في فضاء

مغلق فقط يمكن لمبدأ ماخ أن يتحقق . والأكثر من ذلك ، فقد اقترح هوكنج نموذجا مقنعا للأصل الكمي للكون يكون فيه الكون منغلقا .

وقد يكون التضخم قد أدى لانتفاخ الفقاعة الى حجم كبير ، لكنه لا يمكن على الاطلاق أن يحول «زمكان» منغلقا الى آخر مفتوح . ففي هذه الحالة ستكسب الجاذبية معركتها في النهاية لا محالة . وبذلك سيتوقف التمدد ، ثم يبدأ الكون في الانكماش الى حجم متناه في الصغر، الى أن يفنى في مفردة . وقد يستغرق ذلك وقتا طويلا للغاية ، ترليونات بعد ترليونات من الأعوام ، ولكن صورة الثانية الأخيرة ستكون صورة منعكسة من الثانية الأولى ، تتحول فيها المادة الى طاقة ، وتشوه الطاقة نسيج الزمكان الى أن تحيله الى تقوس مهول حول نفسه يتزايد الى أن يؤدي لاختفائه كلية من الوجود . على أية حال ، فتواجد الكون كان على حساب قرض من الفراغ . وكل ما فعله التضخم هو تأخير ما لا مندوحة عنه . ففي فيزياء الكم يمكن لشيء أن يظهر من العدم لفترة ، ولكن القرض سيسدد في النهاية .

نهاية الزمن ؟

ويشار لنهاية الكون على الصورة المبينة بـ « الانسحاق العظيم big crash » ، أو أحيانا بـ « نقطة أوميجا omega point » وهو ما يشبه اعادة الانفجار العظيم بالعكس . فبدلا من ظهور الكون فجأة من العدم ، فانه يندفع غائرا في العدم ، غير مخلف شيئا وراءه . والعدم هنا يعني حرفيا ــ العدم ، فلا مكان ، ولا زمن ، ولا مادة . فالانسحاق العظيم هو النهاية الكاملة للكون الفيزيائي ، فنقطة أوميجا هي نهاية الزمن . ولا يوجد توقع علمي أخطر من ذلك التحذير من الكارثة النهائية ، والذي يحمل معه تنبؤا لا يقل عنه خطورة ، وهو أن كل المادة التي نشاهدها اليوم ، كافة المجرات مجتمعة ، لا تمثل سوى شيء يقارب واحدا في المائة من محتوى الكون من المادة .

وهذا التوقع مرتبط بما تتطلبه نظرية الجاذبية على الوجه المبين

في الفصل الرابع ، من أن يكون الكون مغلقا ، وما تبينه المشاهدات من أن الفضاء مستو بقدر كبير . ويمكن من الحسابات المباشرة معرفة القدر من المادة في كل متر مكعب من الفضاء المطلوب لاحداث الجاذبية التي شاهدها اليوم ، والتي تبين المشاهدات أن ما يرى من مادة قد لا يمثل سوى جزء من عشرة أو حتى من مائة من ذلك القدر .

واذا كان المنظرون يرجعون حاجتهم لافتراض وجود المادة السوداء الى أهميتها في تفسير شكل الكون ، فان نفس الحاجة تلوح لدى الكونيين لتبرير حركة المجرات ، والتي تبين الدراسات أنها في قبضة جاذبية أقوى مما تتيحه المادة المرئية . ولا يعلم أحد كنه مثل هذه المادة ، وان كان أفضل افتراض بخصوصها أنها شيء متبق من الانفجار العظيم .

وتشير أعمال المنظرين الى أن الانفجار العظيم قد أفرز ، بالاضافة الى الجسيمات المكونة للمادة من الكترونات وبروتونات وغيرها ، أنواعا أخرى غريبة . من ذلك جسيم « النيوترينو neutrino » ، وهو الجسيم المراوغ الذي يمكنه أن يخترق جدارا من الرصاص بسمك سنة ضوئية ، والذي يفوق البروتون عددا بنسبة بليون الى واحد . انها بقية باقية من لليل ثانية الأول . كما يوجد أيضا ما يسمى الأكسيون axion والفوتينو photino ، والجرافيتينو gravitino ، والتي ترجع لعصر أسبق . هذه الجسيمات ضعيفة التفاعل مع المادة لدرجة أن شيئا منها لم يشاهد للآن ، ولكن الأبحاث مخططة لاقتناص بعض منها في القريب . على أن الجاذبية المجمعة لهذه الجسيمات يمكن أن تكون المسيطرة على الكون ، والمحددة لمصيره النهائي . فالعمليات هائلة الطاقة التي تمت في الكسر من الثانية الأولى ، يمكن أن تكون قد أنتجت من جسيمات غريبة غير مرئية بالقدر الذي يمكن أن يبين المكان الخال لكتلة الطاقة المطلوبة لتحديد المصير النهائي للكون .

وتأتي الشواهد على أن تأثيرا غير مرئي يمارس نشاطه في الكون من دراسة طريقة توزيع المجرات في الفضاء . ومع التأكيد على التوزيع المتساوي بقدر مدهش للكون على مدى اتساعه ، فاننا نشير بذلك الى

متوسط التوزيع على مساحات شاسعة ، معترفين بعدم تحقق ذلك على المستوى المحلي . وعلى الرغم من أن التساوي على المدى الواسع هو مفتاح فهم الظروف الأولية ، فان عدم التساوي على المستوى المحلي له نفس القدر من الأهمية ، لبيان كيفية بدء الحيود عن ذلك التساوي في العصور السحيقة ، وربما أيضا المصير النهائي للكون . وتشير الدراسات الى أن مثل هذا الخروج عن التساوي يعطي رؤية لكل من بدء ونهاية الزمكان ، أي الثانيتين الأولى والأخيرة .

ربط أشلاء الكون

من النظرة العابرة للسماء في الليل يتضح أن النجوم ليست موزعة بالتساوي في الفضاء ، ولكنها متكوكبة في مجموعات . وأوضح شاهد على ذلك درب التبانة . وكما ذكر في الفصل الرابع ، فان ما يقرب من مائة بليون من النجوم ، بما فيها الشمس ، تكون درب التبانة ، والتي تأخذ شكل العجلة ، ويغطي الجزء المرئي منها مسافة ١٠٠ ألف سنة ضوئية عبر السماء . ولنتذكر أن هذه المجرة ذاتها هي عضو في مجموعة تكون كوكبة cluster مجرية ، وأن الكوكبة بدورها عضو في كوكبة فائقة supercluster ، تضم عدة آلاف من المجرات . وتظهر لنا المراقيب القوية أن هذا التشكيل الهرمي سائد على مدى اتساع الكون .

وأصل هذا التشكيل الكوني هو من ألغز المواضيع في العلم الحديث . لماذا لم تتوزع المادة بالتساوي عبر الكون ؟ ما الذي دفع بالمادة الى التجمع في مناطق معينة من الفضاء ؟

ومن المغري أن نعيد أصل هذا التكوين الى الظروف الأولية ، لندعي أن الكون ببساطة قد خلق هكذا ، وأن هذا التكوكب قد فرض عليه منذ الميلاد . ولكن هذا الرأي قد عارضته دراسة الخلفية الاشعاعية الكونية ، وهو الاشعاع الحراري المتخلف عن الانفجار العظيم . فدراسات الاختلافات الدقيقة في حرارة الاشعاع الآتي من المناطق المختلفة في السماء كانت تبين عدم الانتظام الذي ساد في الغازات الساخنة التي ملأت الكون في

فترة مبكرة تعود الى مليون عام بعد الانفجار العظيم . فى تلك الحقبة ، والتى تبعد عنا بعشر بلايين من الأعوام ، تسبق عصر تكون المجرات ، وتبين نتائج ذلك المسح أن الكون كان منتظما بصورة مدهشة ، دون اية اشارة الى هيكلة واسعة المدى . كما ان النجاح الذى حققته النظرية التضخمية فى تبرير ذلك يزيد من غموض لغز وجود عدم انتظام على مستوى مجرات وكوكبات مجرية نمت بالكون بعد المليون الأول من الأعـــوام .

وعلى الرغم من الانتظام فى توزيع مادة الكون فى الحقبة الأولى ، فان قوة الجاذبية كان من شأنها احداث تشوهات تنمو باستمرار بمجرد انتهاء التضخم . وما أن يبدأ تجمع من المادة فى منطقة ما حتى تعزز الجاذبيـة من المزيد من التجمع ، مع ازدياد فى معدل العملية . وبهذه الطريقة يكبر اية زيادة فى الكثافة.ولكن زيادة معدل تجمع المادة يعارضه تمدد الكون ، وبالتالى فان معدل التجمع للمادة يكون أبطأ من ان يبرر تكون المجرات من مجرد سوء توزيع عشـــوائى لكثافة المادة لكون بدأ منتظما بصورة تامة .

لابد اذن من عامل تسبب فى بدء العملية ، بايجاد « بذرة » مجرية تتجمع حولها المادة بصورة فعالة . وقد اتجه الفلكيون لفترة طويلة الى القول بان الكون « هكذا كان » ، ولكن ذلك بالطبع لا يمثل تعليلا ، فهو لا يزيد عن القول بان الأمور على ما هى الآن لأنها هكذا كانت . وفى الأونة الأخيرة ظهر احتمال لايجاد تبرير لعدم التساوى فى كثافة المادة ، مبنى على عمليات تمت فى كسر الثانية . تذكر أن التضخم دام فقط المدة التى استمرت فيها حالة الفراغ المستثار ، وانتهت بمجرد استعادة الفراغ لحالته المستقرة . ولكن عملية التلاشى ، شأنها فى ذلك شأن كافة العمليات الكمية ، معرضة للتغيرات ، بما يوافق مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج . وعلى ذلك فالتضخم لم يتوقف فى كافة المناطق فى نفس اللحظة . والمحصلة لذلك هو عدم التساوى فى الكثافة فى الكون عما كان اثناء فترة ما قبل التضخم . وعلى ذلك فالتضخم كان له أثره المزدوج فى محو التغيرات

السابقة عليه وخلق تغيرات خاصة به . والأكثر من ذلك ، فهذه التغيرات قد اتضح أن لها نفس التوزيع الذى يتطابق مع الشكل العام الذى نراه اليوم . ولو كانت هذه النظرية تمثل وصفا حقيقيا للكون ، فانها تعنى أن التغيرات الكمية المجهرية ، والتى تولدت مع عدم يقين كمى ، يمكن أن ترى عبر السماء ، أى أن المجرات ما هى الا بقايا تغيرات «متجمدة» لعصر لا يتجاوز $١٠^{-٣٢}$ من الثانية .

وعلى الرغم مما لنظرية التغيرات الكمية من وجاهة ، الا أنها ليست بلا مشاكل . فقد بينت حسابات عديدة مثلا أن التغيرات فى الكثافة ستكون من الكبر بدرجة لا تتوافق مع ما يشاهد من عدم انتظام الكون اليوم . كما أن هناك مصاعب فنية تجعل الفكرة أقل جاذبية . على أنه توجد نظرية منافسة تحاول أيضا أن تفسر دفع المجرات للتكون ، وهى أيضا تلجأ للمرحلة التى فيها تتلاشى المرحلة المستثارة من الفراغ . هذه النظرية تشابه بين تلك المرحلة وبين ظاهرة مألوفة هى ابتداء مغنطة الحديد . فعند تسخين الحديد الممغنط الى درجة أعلى من درجة معينة تسمى «نقطة كورى Curie point» فانه يفقد مغنطته.وعندما يبرد الحديد فانه يستعيد حالة المغنطة بصورة تلقائية . على أن المغنطة لا تكون بنفس الصورة التى كانت عليها ، بل يتجزأ المجال المغناطيسى الى مناطق ، لكل منطقة اتجاهها الخاص لمجالها . وبناء على ذلك اقترح أن تبريد الكون قد تولد عنه ان كانت قوى الطبيعة مشتتة الاتجاهات بنفس الصورة .

ولمناطق التجاور بين تلك المناطق اهمية خاصة ، لأنها بصفة عامة مناطق من عدم التوافق بين الاتجاهات على جانبى الحدود الفاصلة . وينتج عن ذلك نوع من تشويه الموضع ، مسببا شيئا أشبه بالعقد . وقد عرضنا لهذا النوع من التشويه الطبولوجى فى الفصل الثانى ، والذى من خصائصه تكوين سلسلة من الأنابيب الرفيعة ، خارج كل أنبوبة الفضاء الكمى المعتاد الذى نشاهده اليوم ، ولكن بداخلها سيحبس الفضاء على حالة الاستثارة السابقة . ويتولد عن ذلك ما يسمى بالوتر الكونى cosmic string ، وهو شئ ليس مصنوعا من مادة ما ، بل هى أنابيب من

الطاقة المجالية . فاذا كان شيء من ذلك موجودا حقيقة ، فانها تكون اشبه بكبسولة تجمد فيها الزمن عند اللحظة $١٠^{-٣٥}$ من بدء نشأة الكون .

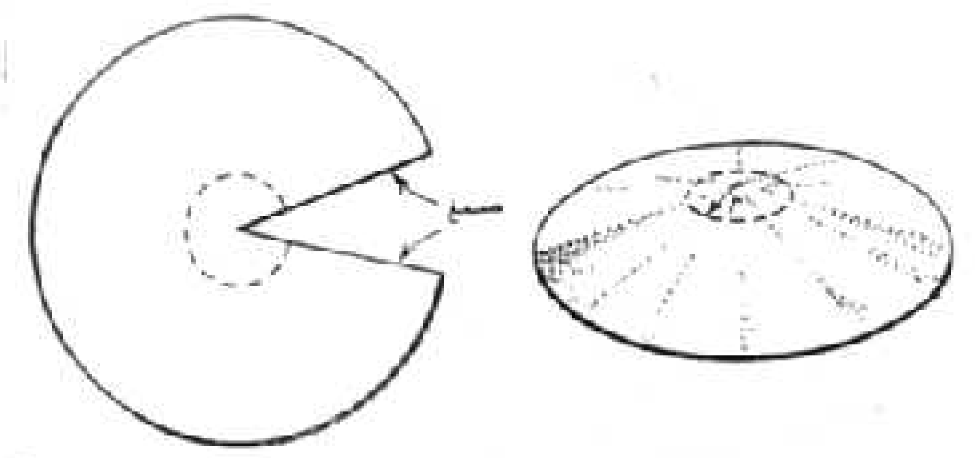
ويفترض أن للأوتار الكونية خـواص غريبة . وفي أكثر صـور النظرية اتفاقا عليها فهي لا يجب أن تكون ذات نهايات ، بمعنى أما أنها لانهائية الطول عبر الكون ، او ذات حلقات مقفلة . ويبلغ من درجة تركيز المجال بداخل الوتر ان كيلومترا من طولها قد يبلغ وزن الأرض ثقلا . ولكن مغزى ذلك يظهر حتى نتخيل ما تحمله تلك الأوتار من طاقة ، جزء من المليون - تريليون من السنتيمتر . ولتصور ذلك فان وترا طوله عبر الكون كله ، لا يشغل من الفراغ اذا تكور الا اقل من حجم الذرة . وأن وزن هذه الكرة دون الذرية يكون $١٠^{٤٩}$ طنا ، أي ما يساوي وزن كوكبة فائقة من عدة كوكبات مجرية !

والخاصـية الغريبة الأخرى هي أن الأوتار رغم هذه الكتلة المهولة لكل وحدة طولية منها ، لا تمارس أية قوة جاذبية على الأشياء المجاورة . فهي رغم أن لها قوة جاذبيـة هائلة ، لها في نفس الوقت قوة ضغط معادلة ، تجعلها ذا جاذبية مضـادة ، على نفس الصورة التي أوجدت التضـخم .

وليس معنى ذلك أن الأوتار لا تسبب أي تأثير تجاذبي على الاطلاق، بل العكس هو الصحيح . فعلى الرغم أن الوتر لا يسبب تقوس الفراغ حوله ، فانه يسبب تشوها من نوع آخر . يمكن تصوره على الوجه التالي : تصور شخصا دار حول وتر منها دورة كاملة . فبحسب المألوف لنا نتوقع أن يكون قد استدار ٣٦٠° ، الا أنه في الواقع سيكون قد دار بأقل من ذلك من الدرجات .

ويمكن أن نوضح ذلك بتصور قطع جزء مثلث من قطعة ورق على شكل دائرة ، ثم اعادة لصق الورقة الأصلية ، لتتخذ شكلا مخروطيا ، بالصورة المبينة في (الشكل ٣٨) . فرغم أن المحيط لم يزل دائريا ،

الا انه قد اصبح اقصر . ويقابل سطح الورقة في مثالنا جزء من الفراغ متعامد على الوتر ، ورأس المخروط نقطة تلاقي الوتر مع ذلك الجزء ، ويكون تأثير الوتر هو اقتطاع جزء من الفراغ بنفس الصورة ، واعطاؤه شكلا « مخروطيا » .



الشكل (٢٨) : حين يقطع جزء من قرص مسطح ، ثم يعاد لصق القرص ، فيتكون الشكل المخروطي المبين . ولهذا الشكل خاصية ان الدائرة المرسومة على سطحه ومركزها قمة المخروط تكون اقل من ٢ ط . ويكون الفضاء في اتجاه متعامد مع وتر كوني مماثلا لهذا الشكل المخروطي .

ولهذه الزاوية المفقودة تأثيرات هامة . من ذلك أن شعاعين متوازيين من الضوء عند مرورهما على جانبين من الوتر سوف ينحرفان إيتلاقيا ، ويكون تأثيره أشبه بالعدسة الضوئية . فاذا وقع الوتر بين مجرة ومشاهد على الأرض ، فانه يرى صورتين متطابقتين لتلك المجرة (الشكل ٢٩) . وقد شوهدت بالفعل أزواج عديدة من صور متطابقة للكوازارات ، الأمر الذي يوحي أن كل زوج هو لكوازار واحد .

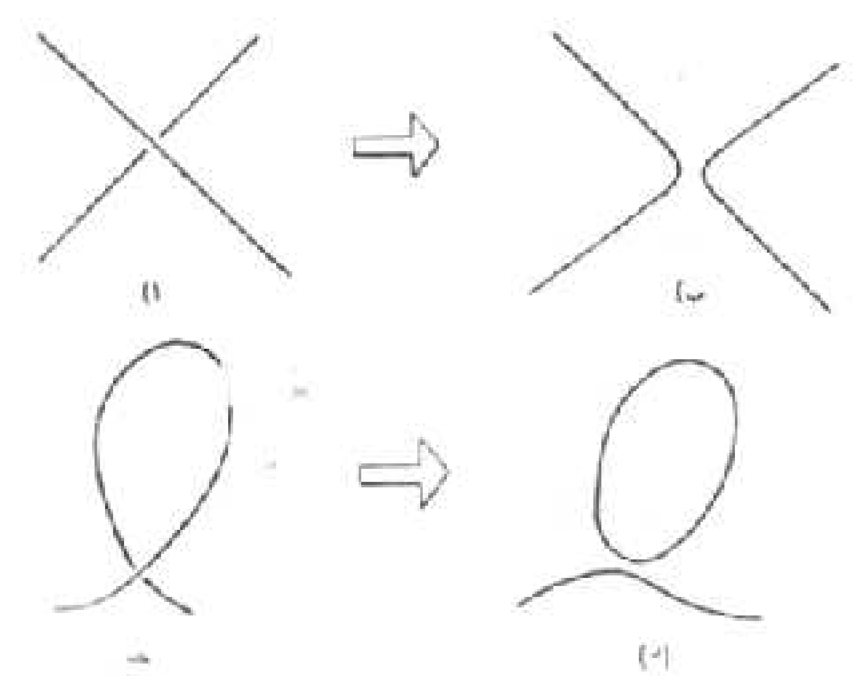
ولكن للأسف ! فان تأثير العدسة قد ينتج أيضا عن مجرة أو ثقب أسود ، وبذلك لا يمثل دليلا على وجود الأوتار الكونية . على أن الدراسة الدقيقة لأزواج الصور قد يميز بين ما يحدث منها بسبب الأوتار وما يحدث بسبب الأجرام الفلكية . كأن تكون الصورة المتكونة بتأثير الوتر ذات حواف حادة .

الشكل (٢٩) : الأشعة المتوازية حين تنتقل في فضاء مخروطي الشكل تتلاقى في النهاية ، كما لو كانت صادفت عدسة ، ويرى المراقب صورتين لمصدر الضوء ، وليس واحدة ·

ومن التأثيرات الممكن ملاحظتها هو ما يحدث خلال حركة الأوتار معترضة خط النظر - فالضوء القادم من أجسام بعيدة له خاصية الانزياح نحو اللون الأحمر ، وهذا الانزياح يعتبر مقياسا لسرعة تباعد الجسم عنا · فلو أن وترا كونيا اعترض مسار الأشعة بيننا وبين الجسم المرئي ، فان تغيرا مفاجئا في الانزياح الأحمر سوف يمكن ملاحظته - ونفس الشيء سوف يلاحظ على الخلفية الاشعاعية الكونية ، حيث سيحدث تغير مفاجئ في درجة حرارتها على جانبي الوتر ·

ورغم أن الوتر ذا الشكل المستقيم ليس له تأثير تجاذبي ، فان حلقات الأوتار تتصرف كما لو كانت جسما ماديا عاديا - وان الحلقات هذه هي ما يلجأ اليه الفلكيون بحثا عن ، بذرة ، تكون المجرات وغيرها من تجمعات المادة الهائلة · ولكن هل يتوقع المرء كثيرا من مثل هذه الحلقات في الكون المبكر ؟ طبقا للتحليل الرياضي،فان عددا كبيرا من هذه الحلقات قد تكون ، غالبا بسرعة قريبة من سرعة الضوء ·

ومن الطبيعي أن يحدث نتيجة لذلك تشابك بين الأوتار حين تتلاقى فحين يلتقي وتران فان المحاليل بداخل هذين الأنبوبين سوف يتفاعلان بحيث تتحد الأطراف لهما بشكل أو بآخر (الشكل ٣٠) · ويعني هذا تكرار التوصيل بين الأوتار ، وخاصة حين تلتوي الأوتار على نفسها · ومن المحتمل أنه خلال الثانية الأولى كان الكون ممتلئا بالفعل من مثل هذه الحلقات ·



الشكل (٣٠) : حينما تتقابل الأوتار الكونية ، تميل للاندماج كما هو مبين ·

وعلى مر الدهور ، تمدد الكون تمددا هائلا ، وتباعدت الحلقات ، كما تباطأت سرعتها حتى وصلت تقريبا للسكون بالنسبة للمادة المحيطة بها . ومن وضعها الهادئ ، بدأت فى تجميع المادة لتكوين المجرات . والكثير من الكونيين مقتنعون بأن الأوتار الكونية قد لعبت دورا رئيسيا فى هيكلة الكون على نطاق واسع ، وأن منها ما لا يزال موجودا الى وقتنا هـذا . واذا كان هـذا صحيحا ، **فكيف نستشعرها ؟** من الاحتمالات ما ذكرناه سالفا ، تأثير العدسة . ولكن أين نوجه أبصارنا ؟

بداية يجب أن ينصب بحثنا على قلب المجرات ، كمجرتنا درب التبانة . ولكن ليس الكثير من الحلقات الكونية سيكون باقيا . ويعتمد مصير الوتر على ديناميكيته . فالشد فى الوتر سيحاول ان يكمشه على نفسه ، ولكن يعارض ذلك الحركة السريعة التى يمكن لأجزاء الوتر ان تكون عليها . تتنبأ الماثلات الحاسوبية بان الوتر سوف يتلوى بعنف . الكون المحيط . هذه التموجات تسمى (موجات الجاذبية) .

تموجات فى الفضاء

يتسبب جرم كبير كالشمس فى التواء الزمكان بالقرب منه . وحين تتحرك الشمس فان التواء الفضاء والزمن يتحركان معها . وفى عمق الكون ، تحمل أجرام أخرى ، منها ما هو أكثر جرما من الشمس ، التواءاتها معها . وحين يتلاقى جرمان ، فان الالتواءات تتصادم ، مطلقة تموجات فى الكون المحيط . هذه التموجات تسمى (موجات الجاذبية) .

وكان آينشتين أول من تنبأ بموجات الجاذبية فى النسبية العامة ، عام ١٩١٦ . ولكن عقودا مرت دون امكانية استشعارها رغم الجهود الاستكشافية . ومع ذلك فالفلكيون مقتنعون تماما بوجودها ، وما عدم الاحساس بها الا للضعف المتناهى للجاذبية .

وليس تصادم الأجرام هو فقط ما ينتج موجات الجاذبية . فمن الوجهة النظرية يشع أى جرم متحرك مثل هذه الموجات . ومن المصادر

الأخرى انفجار او انسحاق الأجرام ، ودوران أزواج النجوم حول بعضها البعض ، واهتزاز الأوتار الفلكية . والاشعاع الذى يبث فى مثل هذه العمليات ينتقل بسرعة الضوء ، ويمكن ان يصل لنا من حيث المبدأ من أطراف الكون المرئى .

كيف اذن يمكن استشعار موجات الجاذبية ؟ موجات الراديو يحس بها عن طريق ما تفعله بالشحنات الكهربية من اهتزازات (الالكترونات الموجودة فى مادة الهوائى) . ولكن لما كانت الجاذبية تعمل على اى شىء ، وليس فقط الشحنات الكهربية ، فان جهاز الاستشعار بها يمكن من حيث المبدأ أن يصنع من أى شىء على الاطلاق . ولكن للأسف بسبب الضعف المتناهى للجاذبية ، فان المواد منفذة تماما لموجاتها ، ويتطلب الأمر أجهزة غير مسبوقة فى درجة دقتها اذا كان لنا أن نحس بها .

ويجرى حاليا تصميم وبناء مثل هذه الأجهزة . وقد كان الجهاز الأول ، والذى صممه جوزيف ويبر **Joseph Weber** من جامعة ماريلاند ١٩٦٠ ، مكونا من أسطوانة من الألومونيوم بقطر ٥ر١ متر معلقة بسلك رفيع فى غرفة مفرغة . والصقت بالأسطوانة كشافات حساسة لاستشعار أية حركة طفيفة تسببها موجات الجاذبية . وتبلغ درجة الحساسية قدرا لا يتصوره عقل ، قريبا من قياس المسافة بين الأرض والشمس لأقرب مسافة تساوى قطر الذرة . ناهيك عن التشويشات الحادثة من أية اهتزازات دخيلة ، كالاهتزازات الأرضية ، أو حتى ما يتسبب عن الاشعاع الحرارى . كل هذه الاهتزازات يجب اخمادها .

وقد ظفر العالم الفيزيائى حين أعلن ويبر عام ١٩٧٠ عن تسجيل اهتزازات متكررة عزاها لموجات الجاذبية . وتدافعت الجهود لانتاج كشافات مشابهة ، دون تحقيق أى نجاح . وما زالت المحاولات تجرى للتبريد الى قرابة الصفر المطلق لاخماد الشوشرة الحرارية ، وتحسين الحساسية بطرق أخرى ، ولكن لم يبد فى الأفق للآن تحقيق لتسجيل مقنع لتلك الموجات . وقد استخلص من تجارب عديدة أن الذبذبات التى أعلن عنها ويبر منذ عشرين عاما لم تكن بسببها .

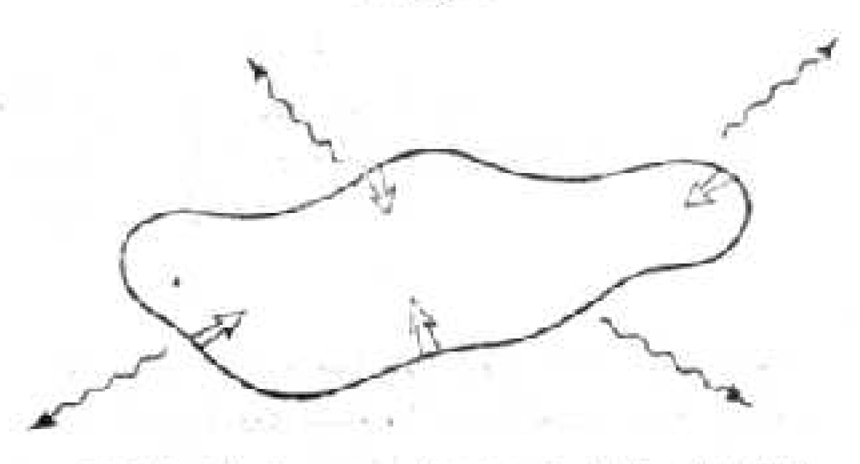
وفي أثناء ذلك لجأت فرق من الباحثين لتصميمات أخرى . ومن التصميمات الواعدة تصميم يعتمد على قياس شعاع من الليزر المنعكس من عدة مرايا معلقة بدقة بالغة في غرفة مفرغة . ويتصور أن أية اهتزازات دقيقة يمكن الاحساس بها من مقارنة اتجاهات أشعة الليزر . ورغم التطور المتواصل في هذه الأجهزة فائقة الحساسية ، فانه لا يتوقع قبل فترة الاعلان عن كشف حاسم لتلك الموجات التي طال انتظارها . ولكن ثقة المختبرين بأن مجهوداتهم لن تذهب هباء قد عززت بما توصل اليه فريق من الباحثين في جامعة ماساشوستس عن تاثير موجات الجاذبية . فباستخدام تلسكوب لاسلكى ضخم في اريكيبو في بورتريكو ، كان الباحثون لعدة سنوات يدرسون نظاما فلكيا يسمى 16 + PSR 1913 . هذا النظام عبارة عن نظام نجمى ثنائى ، اى نجمين يدوران حول بعضهما البعض . ولكنه نظام ثنائى له تميزه ، فكلا النجمين قد انكمشا الى حجم مدينة ، ورغم أن كتلة كل منهما لا تقل عن كتلة الشمس . وعلى ذلك فقد ارتفعت كثافة المادة فيهما الى قيمة هائلة ، فملء ملعقة من مادة يصل وزنها الى بليون طن ! في مثل هذا الانضغاط تتحطم حتى الذرات ، فيكون النجم مكونا من النيوترونات بصفة أساسية .

ويعتقد أن النجوم النيوترونية تتكون خلال الانفجارات المستعرات العظمى (السوبرنوفا supernova) ، حين ينهار نجم ذو كتلة هائلة على نفسه تحت تأثير ثقله . وفي بدء تكونها يعتقد انها تكون على سرعة دوران رهيبة ، عدة مئات من الدورات في الثانية الواحدة . وأغلب هذه النجوم لها مجال مغناطيسى ، وحين ينهار النجم ينكمش المجال فتزداد شدته . فالنجم النيوترونى التقليدى يكون مجاله اشد من مجال الأرض بترليون مرة . وحين يدور النجم يدور معه مجاله المغناطيسى ، فيتحول بذلك الى مولد كهربى رهيب ، يقتنص الجسيمات المشحونة التى بجواره ، كالالكترونات ، فتدور معه بما يقارب سرعة الضوء . وبدوران النجم تدور معه الاشعاعات مثل ضوء الفنار . ويظهر التاثير من الأرض على هيئة نبضات قوية من الاشعاعات .

وقد كان أول اكتشاف لهذه النبضات الراديوية عام ١٩٦٠ . والكثير منها معروف اليوم ، وتعرف باسم « النابضات » او البلسارات pulsars » ولكن النظام المذكور هو نوع خاص منها ، ومن ثم تسمى « النبضات الثنائية » .

ويقدم هذا النظام مثالا نادرا لرؤية موجات الجاذبية تمارس نشاطها . فالزمن الدورى للنظام ، أى الزمن الذى يستغرقه نجم للدوران حول رفيقه ، هو ثمانى ساعات لا غير ، بمعنى أن النجمين يتحركان بسرعة مهولة في مجال تجاذبي شديد . وعلى ذلك يكون كل نجم مصدرا لانبعاث موجات الجاذبية ، والتى تقوم أثناء اشعاعها باستنفاد طاقة النظام . ونتيجة لذلك يتضاءل المدار تدريجيا ، ويتلولب النجمان في اتجاه بعضهما البعض ، الى أن يتصادما . هذا التقارب يتمثل على الأرض كتغير في سرعة النبضات القادمة من النظام ، وحين أحس العلماء بذلك انتابتهم اثارة طاغية ، فقد تحقق أخيرا تنبؤ آينشتين بأن نظاما كهذا يجب أن يشع موجات الجاذبية ، قبل أن يعرف انسان بوجود النجوم النيوترونية . وقد بينت القياسات أن تضاؤل المدار يتوافق تماما مع حسابات النسبية العامة في ذلك . وقد بدا أنه اذا كان لم يحن بعد استكشاف موجات الجاذبية على الأرض ، فاننا على الأقل نشاهد أثرها (٢) .

وبالضبط كما تشع الأجرام الدوارة موجات الجاذبية ، فكذا تفعل الأوتار الفلكية (الشكل ٢١) . وفي حالة حلقة دوارة من الأوتار الفلكية ، فانه سيكون لها تأثيران ، أحدهما درامى لحد ما . فالبث للموجات لن يكون متماثلا من محيط الحلقة ، بل له تروح أشد لاتجاهات معينة ، ويعتمد ذلك على شكل الحلقة . ونتيجة لذلك تتعرض الحلقة لدفع في الاتجاه الأشد ، مما يجعلها تنطلق كالصاروخ بسرعة قد تصل لعشر سرعة الضوء . وعلى ذلك فلو كانت تلك الحلقات هي بذور المجرات ، فلابد أنها قد غادرتها من وقت طويل .



الشكل (٣١) : حلقة متشعبة من وتر كوني هي مصدر وافر لموجات الجاذبية . ومع انتشار الموجات ، تستنفد طاقة الحلقة ، فتنكمش .

والأثر الثاني هو أن بث موجات الجاذبية يستنفد طاقة الحلقة ، فتزداد انكماشا على نفسها ، وتنتهي في نهاية الأمر الى التلاشي ، ربما على صورة ثقب أسود . ومعنى ذلك على أي من الاحتمالين ، انه ليس من المحتمل أن نجد منها ما هو باق للآن .

والأثر التراكمي لموجات الجاذبية المشعة من آلاف من حلقات الأوتار الفلكية في العصور السحيقة ، سيكون قد ملأ الفضاء بكم متلاطم من التموجات ، بالضبط كسطح بركة تعرضت لرياح شديدة ، بعض من هذه التموجات يمكن أن تكون لها أطوال ، أي مسافات بين القيم المتتالية ، تبلغ عدة سنوات ضوئية ، عاكسة حجم الحلقات آنذاك . ومن بين آثار أخرى ، ستعمل هذه التموجات على التأثير على سرعة نبضات النجوم النابضة ، ليس في هذه المرة بسبب اشعاع النجوم ذاتها ، بل بسبب التموجات في الفضاء بينها وبين الأرض .

وكلما ازدادت سرعة النجم النابض ، زادت حساسيته لهذا التأثير . وبعض النابضات تبث نبضات بسرعة عدة آلاف من النبضات في الثانية الواحدة ، فتتوالى النبضات بمعدل يصل لمل ثانية . هذه الـ « نابضات الملل ثانية » هي الآن محل دراسة مستفيضة ، للبحث عن أي أثر لموجات جاذبية تنجت من حلقات أوتار فلكية من العصور السحيقة .

لقاء رهيب : وتر فلكي يقابل ثقبا أسود

لكون الوتر الفلكي ممنوعا أن تقصم عراه ، فان السؤال يدور حول ما يحدث لو قابل وتر فلكي ثقبا أسود . فأي شيء يدخل الثقب الأسود لا يمكن أن يخرج مرة أخرى ، بما في ذلك جزء الوتر الفلكي ، ومن جهة أخرى ، فان الثقب لا يمكنه أن يقضم الوتر دون أن يقصم عراه . والحل الأوحد هو أن يظل الوتر عالقا بالثقب . عندئذ يبدأ الثقب في ابتلاع الوتر كزوج من عصوات الاسباجتي . وفي حالة الوتر المستقيم فلن يكون على الوتر علامات تدل على سرعة هذا الالتهام . وبالنسبة للمراقب فلن يرى أي شيء يحدث . وفي الواقع يظل الموقف ساكنا ، فالثقب لن يزداد حجما بسبب ابتلاعه للوتر ، لنفس السبب الذي به لا يظهر للوتر قوة جاذبية ، الا وهو الجاذبية المضادة التي تعادل جاذبيته . وبالتالي لن تزداد جاذبية الثقب مهما كان طول الوتر المبتلع .

أما في الحالة الواقعية ، فاصطياد ثقب أسود لوتر فلكي هي عملية أكثر تعقيدا . فالوتر لن يكون مستقيما بصورة مثالية . وقد بينت المحاكاة الحاسوبية التي أجريت بواسطة ايان موس Ian Moss من جامعة نيو كاسل أن الوتر باقترابه من الثقب سيظهر له طرف مستدق يشير للثقب . هذا الطرف يتحول الى حلقة ، كحلقة وحيدة في لولب ، قد تتبعها حلقة أخرى ، ثم يتبع ذلك لولب فلولب ، بحيث حين يصل الوتر للثقب لا يكون أشبه بعصوات الاسباجتي ، بل كطبق من الاسباجتي المختلط بلا نظام . فاذا ما كان الثقب دوارا (كما هي الحالة الغالبة) . فان هذا الخليط من الاسباجتي سيدور معه ، محدثا مزيدا من تعقد الموقف .

ويتجاوز الاهتمام بلقاء الثقب الأسود لوتر فلكي هذه التصورات الفلكية ، ليمس أساس علم الفيزياء . فطبقا لما بينه ستيفن هاوكنج ، فان الثقب الأسود لا يمكن أن ينقص حجما . ويقول أكثر دقة ، فسطح الثقب الأسود اما أن يزداد أو يظل ثابتا . والاستثناء الوحيد لهذا المبدأ هو الثقوب السوداء المجهرية ، والتي تقوم العمليات الكمية بتحويل طاقتها الجاذبية الى جسيمات حقيقية ، مما يؤدي لتبخرها واختفائها في انفجار عنيف للطاقة .

وقانون سطح الثقب هو قانون أساسي في الفيزياء ، حيث انه يمكن من تطبيق قوانين الديناميكا الحرارية على الثقوب السوداء . فسطح الثقب

الأسود يعتبر مقياساً للانتروبيا ، وتقليل سطحه يقابل تقليل الانتروبيا ، مما يخرق قانوناً من أهم القوانين الأساسية للفيزياء .

وللوهلة الأولى يبدو أن سطح الثقب الأسود سوف يقل ، بسبب عملية قطع السطح السابق شرحها (راجع الشكل ٢٨) . وقد بذل كثير من العلماء جهداً للتوفيق بين ذلك وقانون عدم نقص الانتروبيا ، وذلك بتصور أن الوتر سيمد الثقب بطاقة تزيد من حجمه ، وبالتالي من سطحه ، بما يعادل النقص الحادث على الأقل .

وقبل أن نترك موضوع الأوتار الفلكية ، يجب أن نشير إلى أن تكونها يتضمن عمليات فيزيائية حدثت في حدود عصر التضخم . والسؤال الجوهري هو هل قبل أو بعد ذلك . فلو كانت سابقة لأصابها التضخم هي أيضاً ، ولتلاشت بعد التضخم ، كشأن كافة التغيرات قبله . ولتضاءل الأمل إلى حد كبير في أن نلاقي شيئاً منها . ولهذا السبب ، فإن النظرية التضخمية والنظرية القائلة بالأوتار الكونية ينظر إليهما كبديلين . ولم يمنع هذا بطبيعة الحال بعضاً من المنظرين من محاولة الجمع بينهما .

وكالكثير من الأفكار التي عرضنا لها في هذا الفصل ، فإن هذه المحاولات من المنظرين في كفاحهم لكسب قوتهم ، تتطلب التعامل مع الفيزياء الكمية . وقد حاولنا إلى الآن تحاشي هذا الموضوع بالتفصيل ، حيث أن له شهرة في التعقيد والصعوبة . كما أن بعض تنبؤاتها غاية في الغرابة . ومع ذلك ، فلكي نواصل حديثنا ينبغي علينا الدخول شيئاً ما في هذه التفاصيل ، وهو موضوعنا في الفصل المقبل .

هوامش الفصل السادس

(١) مستحيل من الوجهة العملية . وذلك أنه برسم مثلث على سطح الأرض وقياس مجموع زواياه ، يتبين لنا إن كانت منبسطة أو منحنية . وهو ما يتصور نظرياً مع الكون .

(٢) كلمة تحذير : يطلق مصطلح « موجات الجاذبية » أيضاً على موجات السوائل ، سطح المحيطات ، حين تتحرك تحت تأثير الجاذبية . ويجب الانتباه لعدم الخلط بين المصطلحين .

الفصـــل السـابع

أعاجيب الـــكم

في كل مرة تنظر فيها إلى ساعة مشعة ، فأنت تشاهد إحدى أعجب العمليات في الطبيعة . فالتوهج الحادث ينتج عن صورة من النشاط الإشعاعي تعرف بانحلال ألفا alphadecay ، ومنذ اكتشافه في نهاية القرن التاسع عشر ، كان من الواضح أن انحلال ألفا هو أحد الظواهر العجيبة .

وفي نيوزيلندا كان إيرنست رذرفورد Ernst Rutherford من أوائل من أجروا تجارب على « إشعاع » ألفا ، كما كان يسمى ، وأعطاه هذا الاسم عام ١٨٩٨ . وبحلول ١٩٠٧ ، كان رذرفورد قد استنتج أن جسيمات ألفا هي في الواقع ذرة الهيليوم وقد نزعت عنها الالكترونين المكونين لغلافها . هذه الذرة المنزوع عنها الكتروناتها سميت فيما بعد بالنواة . ونحن نعلم الآن أن جسيمات ألفا مكونة من بروتونين ونيوترونين . ولكن تركيب الذرة لم يعرف آنذاك إلا بعد عدة أعوام ، حين استخدم رذرفورد جسيمات ألفا كمقذوفات .

في هذه التجارب سلط رذرفورد وابلاً من جسيمات ألفا على غلالات رقيقة من الذهب . وقد اخترقت الغالبية من هذه الجسيمات الغلالة مثل « طلقة نارية تخترق قطعة من القماش » على حد تشبيهه . بينما انحرف عدد قليل للغاية عن مساره ، وبزاوية كبيرة ، كما لو كانت الطلقة قد ارتطمت بشيء صلد . وعلل رذرفورد ذلك بأن كتلة الذرة مركزة في نواة لها ، واقترح أن تكون الذرة عبارة عن الكترونات خفيفة للغاية تطوف حول تلك النواة على شكل سحابة متخلخلة ، وتتشابه الذرة بذلك من عدة نواح مع النظام الشمسي ، والذي فيه تطوف أجرام خفيفة نسبياً حول جرم مركزي به أكثر كتلة النظام ، ألا وهو الشمس .

وأطلق على نموذج رذرفورد لذلك « النموذج الكوكبي » . وبدلا من الجاذبية ، فإن جسيمات الذرة مترابطة بفعل القوى الكهربية . فكل الكترون يحمل شحنة سالبة مقدارها الوحدة ، بينما تحمل النواة الشحنة الموجبة الكاملة ، والتي تساوي مجموع ما تحمله الالكترونات . فإذا كان هذا التصور صحيحا ، فإن جسيمات ألفا التي تصطدم بالنواة هي فقط التي تعاني من الانحراف المذكور .

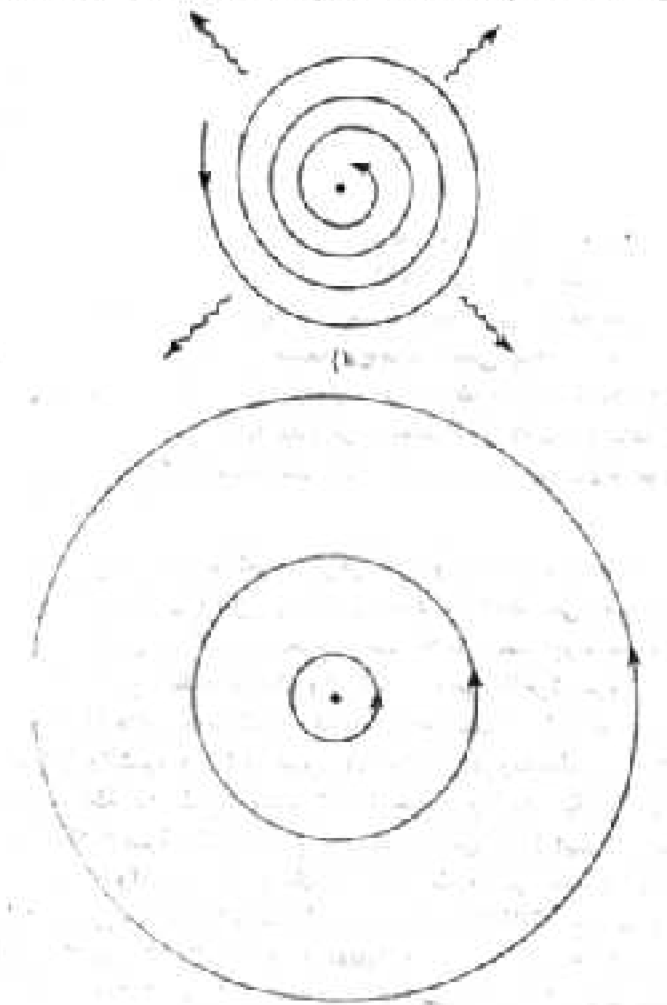
ولكن رذرفورد ووجه بشيء مستغرب ، فإذا كانت جسيمات ألفا هي شظايا انبعثت من نواة يورانيوم مثلا ، فلابد من وجود آلية تدفعها لمغادرة النواة الأم ، وبمجرد أن تغادر النواة موجبة الشحنة ، فإنها ، وهي أيضا موجبة الشحنة ، ستتنافر معها . فكيف ترابطت الشحنات الموجبة داخل النواة ، ولماذا لا تستطيع جسيمات ألفا الدخول مرة أخرى للنواة ، طالما أنها كانت موجودة بها ، واستطاعت الخروج منها ؟

وفي العشرينيات قام الفيزيائيون بتطوير الفكرة بأن الشحنات الموجبة في الذرة مترابطة بقوة أطلق عليها « القوة النووية القوية strong nuclear force » ، لتغلب ، عندما تعمل على مسافات ضئيلة ، على قوة التنافر الكهربية ، والتي سميت « القوة النووية الضعيفة weak nuclear force » . هاتان القوتان : التي تعمل على المسافات الكبيرة ، ولكنها الأضعف ، مع القوية ، تخلقان شيئا أشبه بالحاجز غير المرئي حول النواة . فجسيمات ألفا بداخل النواة تكون محجوزة بداخلها بواسطة الحاجز ، بينما لا تستطيع جسيمات مثلها في الخارج اختراق الحاجز . والمسألة أشبه بكرة في أخدود لبركان خامد ، يمكن لها أن تقفز منه للخارج إذا أوتيت طاقة كافية ، وما أن تفعل حتى تتدحرج بعيدا ، ولكن كرة بالوادي يتحتم عليها أن تصعد الجبل قبل أن تسقط في الأخدود . ولكن هذا لم يحل لغز عودة الجسيمات المشعة من النواة من العودة لها ثانيا . ولم تفعل الحسابات المتعلقة بهذا الحاجز المفترض إلا تعميق الغرابة ، فقد اتضح أن الجسيمات المشعة ليست لديها الطاقة التي تمكنها من عبوره ، كما بينت التجارب أن جسيمات بضعف تلك الطاقة غير قادرة على عبوره من الخارج . لقد بدا الأمر كما لو كانت جسيمات ألفا قد حفرت بطريقة ما ، نفقا ، في الحاجز .

نعم ، إن شيئا غريبا يجري ! . هذا الشيء الغريب ـ التأثير النفقي tunnel effect ـ قد قام بشرحه الفيزيقي الروسي المولد جورج جاموف George Gamow عام ١٩٢٨ ، معتمدا في ذلك على نظرية ميكانيكا الكم الحديثة ، والتي قامت أساسا لتفسير الغرائب المتعلقة بالعالم الذري .

النفق الكمي

حين وضع رذرفورد تصوره « الكوكبي » عن النواة ، لم يكن يعلم كيف تستقر الالكترونات في مداراتها حول الأنوية . فهناك أمر غريب مرتبط باستقرار هذا النظام ، حيث ان قوانين الميكانيكا الكلاسيكية تنص على



الشكل (٢٢ ـ ١) : طبقا للفيزياء الكلاسيكية ، يجب على الالكترون الدوار حول النواة أن يشع موجات كهرومغناطيسية على الدوام ، فتقل طاقته ليتخذ مسارا لولبيا فيسقط في النواة .

(ب) اقترح بوهر أن الالكترون مقيد في مسارات محددة (مقادير كمية) ، ويمكن للالكترون أن يقفز من مسار لآخر عند امتصاص أو بث موجات كهرومغناطيسية بالقدر اللازم من الطاقة .

انه يجب على الالكترون في حالة دورانه أن يصدر اشعاعات كهرومغناطيسية . مما يفقده طاقته ، فيدور في مسار حلزوني تجاه النواة الى ان يسقط فيها . بمعنى آخر ، فانه طبقا للفيزيقا الكلاسيكية فان مآل الذرة للانهيار . اما ما يحدث بالفعل فأمر مخالف تماما . فالالكترونات تحتل مستويات محددة من الطاقة ، تقابل مسارات على مسافات محددة من النواة (الشكل ٣٦) . ويمكن بالطبع أن تشع موجات كهرومغناطيسية من الذرة ، ولكن ذلك يحدث في دفقات فجائية . وحين يتم ذلك يقفز الالكترون من مدار لآخر أدنى منه .

وكان وجود مستويات معينة للطاقة لغزا محيرا . من اين اتت ؟ وما الذي يبقي الالكترونات بها ؟ وفي ١٩١٢ تولى هذه القضية نيلز بوهر بعد زيارته لرذرفورد ، الذي كان يعمل وقتها في جامعة مانشستر . وببصيرة نافذة وضع بوهر صيغة رياضية تعطي بدقة بالغة مستويات الطاقة لأبسط الذرات ، الهيدروجين . وكم الطاقة المنبعثة للالكترون أو المنبعثة منه عند التنقل بينها علوا أو انخفاضا . ولاقت الصياغة ترحيبا حارا ، ولكن لم يكن أحد يعلم لماذا تكون هذه المعادلة على هذه الصورة بالذات .

والخصيصة المميزة لمعادلة بوهر هي وجود ثابت بلانك . والذي قدمه في مطلع القرن الفيزيائي الألماني ماكس بلانك لكي يفسر طبيعة الاشعاع الحراري . كما استخدم ثابت بلانك أيضا بواسطة أينشتين عام ١٩٠٥ لشرح الظاهرة الكهروضوئية ، وهي ظاهرة سريان الكهرباء في بعض المواد عند سقوط الضوء عليها . وقد بينت أعمال بلانك وأينشتين أن الحرارة والضوء (وكافة صور الاشعاع الكهرومغناطيسي) لا يمكن وصفها ببساطة عن طريق صورتها الموجية ، ولكنها يمكن ، في بعض المواقف ، أن تتصرف كسيال من جسيمات أطلق عليها اسم « الفوتونات photons » . وقد حدد ثابت بلانك قيمة الطاقة التي يحملها كل فوتون ذي طول موجي معين . فالفوتون أشبه بحزمة من الطاقة ، سميت « الكم » (الجمع : كمات ، أو الكوانتا) quanta . وببيان احتياجه لثابت بلانك ، أقام بوهر رابطة بين كمات الاشعاع الحراري والتركيب الذري . لمستويات الطاقة المسموح للالكترونات أن تحتلها تعتمد ، مثل طاقة الفوتونات ، على ثابت بلانك .

ولكن ظل اللغز حول سبب اتخاذ مستويات طاقة الالكترونات هذه الصفة الكمية . وكانت بداية الحل على يد طالب فرنسي يدعى لويس دي برولي (يسمى في كثير من الكتابات دي بروجلي Louis de Broglie

عام ١٩٢٤ . والذي وانته فكرة جريئة : لو كانت موجات الضوء تتصرف احيانا كالجسيمات ، فربما كان الالكترون ، والذي ينظر اليه عادة كجسيم من جسيمات المادة ، يتصرف احيانا كالموجات ؟ وتطويرا لفكرته صاغ دي برولي معادلة بسيطة بين فيها علاقة الطول الموجي لمثل هذه الجسيمات بكمية حركتها . وكمية الحركة هي حاصل ضرب الكتلة في السرعة . وبين دي برولي أن علاقة كمية الحركة بالطول الموجي يتضمن بدوره . ثابت بلانك .

وعلى الرغم من أن دي برولي لم يضع نظرية متكاملة عن الموجات المادية (اذ يرجع الفضل في ذلك للفيزيائي النمساوي شرويدنجر) ، فان فكرته قدمت التصور اللازم لشغل الالكترون مستويات طاقة محددة حول النواة . فاذا ما تصرف بصورة ما الالكترون كموجة ، فانه لكي « تتفق » الموجة مع المدار فان قطر المدار يجب أن يكون عددا صحيحا من الطول الموجي ، بحيث انه حين تلتف الموجة حول المدار تقفل تماما . وعلى ذلك فلن يتاح ذلك الا لمدارات محددة ، والتي تمثل مستويات الطاقة المسموح بها .

وقد قدم شرويدنجر تفاصيل هذا التوافق في معادلة تصف تصرف الالكترون بالقرب من النواة . وبحل معادلة شرويدنجر ، ظهرت مرة أخرى معادلة بوهر الخاصة بمستويات الطاقة لذرة الهيدروجين . وكان هذا هو النصر الأزرر للفيزياء . وفي السنوات التالية ، طبقت النظرية الجديدة ، المسماة بالميكانيكا الكمية ، بنجاح على عدة مسائل تتضمن الالكترونات . وتشكل معادلة شرويدنجر الآن أساسا للفيزياء المتعلقة بالذرات والجزيئات والجوامد ، والكيمياء الفيزيائية . ولكن هذا النجاح الساحق لم يكن بلا ثمن . فكما كان شرويدنجر نفسه واعيا ، كان ذلك على حساب التخلي عن قوانين نيوتن التي حازت التبجيل على مدى قرون ، وابدالها بالمعادلة الجديدة لموجات المادة .

واذا كان الالكترون يتصرف كالموجات ، فمن المعقول أن نتوقع أن تتصرف بنفس الطريقة كافة الجسيمات الأخرى ، وهو ما أكدته التجارب بالفعل . وما أن استقرت الصفة الموجية للجسيمات دون الذرية ، حتى أصبح من الواضح أن أشياء غريبة يمكن أن تحدث على مستوى الذرات والأنوية . افترض مثلا أن شعاعا من الالكترونات قابل قوة مجال تمثل حاجزا كهربيا . فاذا كانت قوة تنافر فمن الطبيعي أن نتوقع أن تنحرف الالكترونات بعيدا . واذا كانت القوة تجاذبا ، نتوقع انحرافها تجاه القوة . أما بالنظر للصفة الموجية ، فهذا التوقع السلس معرض للاستثناء . فكما

أن لوح الزجاج يعكس بعضا من الأشعة ويمرر البعض الآخر (وهو ما يسبب صورة شاحبة لك على اللوح) ، فان المجال المتجاذب سيعكس دائما قدرا من الالكترونات . ومعنى ذلك أن بعض الالكترونات ، قلة من الكثرة الغالبة ، سوف ترتد عن منطقة الجذب ، بالضبط كما لو أن كرة الجولف اندفعت تجاه الحفرة ، وعند حافتها غيرت رأيها ، فارتدت متباعدة عنها .

وبتقبل هذا التصرف الشاذ ، ليس من الصعب تبرير كيفية حدوث ظاهرة النفق المذكورة سابقا لجسيمات ألفا . فكما أن الالكترون له خواص موجية ، فنفس الشيء لتلك الجسيمات . وعلينا أن نتصور هذه الجسيمات محتواة داخل النواة بقوة الحجز ، كما تحجز موجات الضوء داخل صندوق مبطن بالمرايا .

وحين ينعكس الضوء بمرآة ، فان جزءا منه يخترق مادتها ، فيمتص داخله . أما اذا كانت المرآة مصنوعة من مادة رقيقة السمك ، فان قدرا من الموجات يمكن أن يخترقها ويعبر للجانب الخلفي منها ، منهك القوة ، وما أن يعبر المرآة حتى يستعيد خواصه كضوء طبيعي . ونفس هذه الظاهرة النفقية ظاهرة مألوفة مع كافة الموجات ، فهي تحدث مثلا مع الموجات الصوتية . وفي حالة جسيمات ألفا فهي تسبب « تسربا » ضئيلا من موجاتها عبر حاجز النواة الى الخارج . وكما سنرى ، يتضمن ذلك أن هناك احتمالا ضئيلا ، ولكنه ليس منعدما ، لجسيمات ألفا أن تشق نفقا عبر الحاجز وتفر من النواة . فاذا ما أعطيت وقتا كافيا ، فان هذا سيحدث وقتا ما .

ولكن ماذا عن لغز عدم عودتها مرة أخرى للنواة ؟ يكمن الرد في عبارة : « اذا ما أعطيت وقتا كافيا » . فدرجة اختراق جسيمات ألفا للنواة ضئيلة للغاية ، وقد يستغرق الأمر بلايين السنين لحدوث حالة من ذلك . ولما ملاحظتنا لذلك بالنسبة لليورانيوم فلأن جزءا ضئيلا منه مكتظ بالأنوية (لكونه من العناصر الثقيلة — المترجم) ، تتصارع فيها جسيمات ألفا من أجل الفرار . والطريقة التي تعمل بها الاحتمالات هي أنه اذا كان الاحتمال هو بليون الى واحد ، فان الأمر يستغرق لجسيم واحد بليون سنة ، وسنة واحدة لجسيم من بليون جسيم . فاذا راقبت ألف بليون من أنوية اليورانيوم لمدة سنة ، فان لك أن تتوقع ألف حالة من اشعاع ألفا خلالها ، وهكذا . فاذا ما أردنا رؤية العملية المكسية فلابد أن نمطر النواة ببلايين من تلك الجسيمات ثم نأمل ملاحظة حالة اختراق واحدة ، أو نقيد جسيما خارجها وننتظر بليون سنة .

عالم من عدم التأكد

وعلى غرابة التأثير النفقي ، فان الأغرب منه أن نعلم أن له تطبيقات عملية ، مثلا فيما يسمى « الثنائي النفقي tunnel diode » ولعل أهم تطبيق للخاصية الموجية للالكترونات هو ما يعرف باسم « التوصيل الفائق superconductivity » . فحين يمر التيار الكهربي في موصل ، فان سيل الالكترونات يواجه بعقبات عشوائية تسبب ما يعرف بالمقاومة الكهربية . ولكن بعض المواد لها خاصية فقد هذه المقاومة تماما عند درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق . ومن ثم فان التيار يمكن أن يمر بها للأبد ، دون أي فقد في طاقته .

والخصيصة الرئيسية في موضوع التوصيل الفائق هي الخاصية الموجية للالكترونات . فالالكترون له مجاله الكهرومغناطيسي الخاص به ، والذي يتسبب في تشويه الهيكل الشبكي lattice للمادة المتضمن بها قليلا . وتشويه الهيكل الشبكي لجسيمات مشحونة يتسبب بدوره في تشويه مجالها الكهرومغناطيسي ، فيؤثر بذلك على الالكترونات الأخرى . ونتيجة لذلك ، يوجد تفاعل ضعيف بين الالكترونات الحاملة للتيار والهيكل الشبكي للبلورة . وعند درجات الحرارة العادية تطغى الاهتزازات الحادثة في البلورة نتيجة الحرارة على هذا التأثير الواهن ، ولكن عند درجات الحرارة المنخفضة تخمد تلك الاهتزازات ، ويظهر التبادل بين الالكترونات على المسرح . هذا التبادل يمكن الالكترونات من أن تتزاوج ، ويتسبب هذا التزاوج في تغيير جذري في خصائصها . أحد هذه التأثيرات هو السماح لأعداد كبيرة من أزواج الالكترونات بالتوافق الموجي ، منتجة موجات فائقة من الالكترونات . هذه الموجة الفائقة ، تحت الظروف الملائمة ، يمكن أن تنتقل حرة عبر حلقة من موصل فائق ، في موجة مستقرة في مستوى من الطاقة معين لا تتزحزح عنه (١) ، بالضبط كما تحتل الالكترونات مستويات معينة من الطاقة حول النواة . ويمثل الموصل الفائق في ذلك ، من وجهة نظر معينة ، نواة ذرة ، ولكن على المستوى المرئي . وكأغلب التأثيرات الكمية ، فقد استغلت هذه الظاهرة عمليا بالأخص في عمل مغناطيسات قوية لمسح الأجسام البشرية وغير ذلك من الأجهزة .

وقد تم التعبير عن الخواص الموجية للالكترونات بأكثر من طريقة عملية . فالميكروسكوب الالكتروني مثلا ، يستخدم الالكترونات بدلا من الضوء ، ومن ثم يمكن أن يرى تفاصيل أدق . وتستخدم الموجات الالكترونية والنيوترونية في فحص المعادن بحثا عن أية عيوب بتكوينها المعدني .

كما يسلط شعاع من موجات النيوترونات على صنف ما ، بحيث يمكن ضبط ترددها بدقة لتتوافق مع تردد أنوية الهدف ، وبهذه الحيلة يمكن مثلا قياس درجة حرارة ريشة توربين نفاث بينما هو يعمل .

واعجب ما في ظاهرة الازدواجية بين الخواص الجسيمية والموجية انها ليست مقصورة على العالم الذرى ودون الذرى . فالأجسام المرئية من بشر وكواكب لها (من حيث المبدأ) موجاتها الكمية الخاصة بها ، تحددها معادلة دى برولى الموجية . والسبب في اننا لا نحس بها (كأن يتعرض شخص مثلا لتأثير النفق في كرسي يجلس عليه ، ليجد نفسه واقعا على الأرض) موجود في صياغة المعادلة نفسها . فالطول الموجي للموجات يتضاءل مع كمية الحركة ، ومعنى ذلك انه كلما زادت الكتلة للجسم قل الطول الموجي . وعلى ذلك فطول الموجة للالكترون في جهاز منزلي يبلغ جزءا من مليون من السنتيمتر ، بينما يبلغ لبكتيريا طولا أقل من قطر ذرة ، ولكرة ١٠ - ٣٢ من السنتيمتر . كل جسم من هذه الأجسام يمكن أن يشق نفقا في حاجز ذي سمك متناسب مع طول موجته ، مما يجعل فكرة استغلال ذلك للأجسام المرئية ضربا من الفكاهة .

على أن الفكرة في حد ذاتها ، من وجود موجات مادية حتى على المستوى المرئي ، مهما كان قصر طولها ، تثير جدلا خطيرا انخرط فيه العلماء لعدة عقود . ويرجع ذلك للسؤال المبدئي : ما كنه الموجات الكمية بالضبط ؟

ذلك انه من الصعب تصور شيء في الطبيعة له خواص مادية وخواص موجية في نفس الوقت . وقد كان اكتشاف ازدواجية طبيعة الضوء والالكترونات مبعث حيرة بالغة في البداية . وحين بدأ العلماء يتحدثون عن ازدواجية الجسيم - الموجة لم يقصدوا ان الشيء له الخاصيتان معا ، بل انه يمكن ان يظهر هذه الخاصية او تلك ، بحسب الظروف .

وقد مد بوهر فكرة ازدواجية الجسيم - الموجة ليبدأ عرف باسم « التكاملية complementarity » ، ويقصد به أن الظواهر التي تبدو متعارضة في الطبيعة هي في الواقع متكاملة . وعلى ذلك فيمكن النظر للخاصيتين الموجية والجسيمية للالكترون على انهما متكاملتان ، كوجهي العملة . فالالكترون يمكنه ان يتصرف كجسيم ، أو كموجة ، ولكن ليس أبدا بالصورتين ، كما انه لا يمكنك الحصول على وجهي العملة معا .

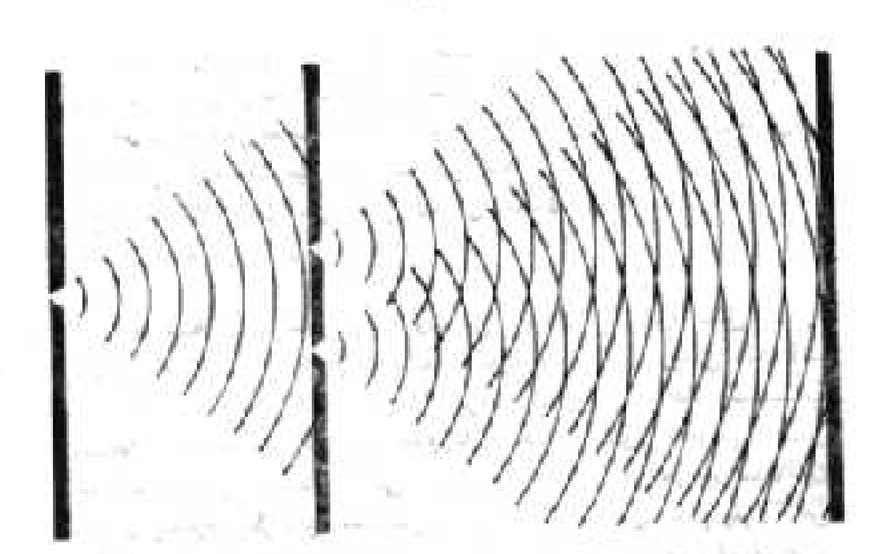
ومن المهم للغاية مقاومة اغراء النظر لموجة الالكترون كاهتزاز في وسط مادي ، كالموجات الصوتية مثلا . والتفسير الصحيح ، وهو الذي

ادرسه بوهر في العشرينيات ، هو ان هذه الموجات هي مقياس للاحتمالات . حين نتحدث عن موجة الالكترون بالضبط كما نتكلم عن موجة الجريمة . فقولك ان ضاحية من مدينة اصيبت بموجة جرائم ، يعني ان احتمال التعرض للجريمة في تلك الضاحية أكبر منه في بقية المدينة . وبالمثل ، فان اشد موضع لموجة الالكترون تعني أكثر الأماكن احتمالا لتواجده ، دون استبعاد احتمال وجوده في مكان آخر .

وحقيقة أن موجات الالكترون هي موجات احتمالية تمثل عنصرا حيويا في ميكانيكا الكم وفي الطبيعة الكمية للحقيقة . ويعني ذلك اننا ليس بامكاننا الجزم بما يمكن للالكترون أن يفعله . فقط حساب الاحتمالات الممكنة هو كل ما بمقدورنا . هذا القصور الجوهري يمثل نهاية الحتمية في الطبيعة . فهي تعني أن الكترونين في موقفين متماثلين يمكن أن يتصرفا بطريقتين مختلفتين . وهذا يعني وجود عدم يقين كامن في العالم الكمي . هذا الواقع معبر عنه في مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج ، والذي يعني أن الكميات رهن الملاحظة تتعرض لقدر من التغيرات العشوائية في قيمها ، مقدارها محدد بثابت بلانك . وقد وجد أينشتين في خاصية اللاحتمية في العالم الكمي صدمة أدت به للوقوف في وجه الفكرة بصرامة ، مقرعا القائلين بها بمقولته الشهيرة : « ان الله لا يلعب بالنرد ! » . وقضى أغلب البقية من عمره يحاول عبثا البحث عن الساعة المنضبطة التي تصورها مخفية تحت المظهر العشوائي للميكانيكا الكمية .

ويرى بوهر في السؤال عن ماهية الالكترون من حيث كونه جسيما أم موجة تساؤلا بلا معنى . فلكي يلاحظ المرء الالكترون ، عليه أن يقوم ببعض القياسات ، وذلك عن طريق اجراء تجربة ما (تلقف العملة) . والتجارب المصممة للكشف عن الموجات تقيس دائما الخواص الموجية للالكترون ، بينما تلك المصممة للكشف عن الجسيمات تقيس الخواص المادية . فليس من تجربة على الاطلاق تقيس المزيج بين نواحي الخواص .

وتقدم التجربة الشهيرة التي اجراها في انجلترا لأول مرة توماس يونج Thomas Young في مطلع القرن الثامن عشر مثالا كلاسيكيا . فهو قد أجرى تجارب على الضوء ، ولكن تجربة مقابلة لها أجريت بعد ذلك على الالكترونات (٢) . وفي التجربة الأصلية أنشأ مصدر ضوئي حائلا ذا ثقبي صغير ، ثم استقبلت الصور المتولدة على شاشة خلفية (الشكل ٣٣) . وقد تتوقع أن الصورة المستقبلة هي بقعتان متداخلتان من الضوء ، ولكنها في الواقع متكونة من شرائط متعاقبة تتراوح بين الظلمة والاضاءة ، تعرف باسم حزوز التداخل interference fringes .



(الشكل ٣٣) : تجربة يونج . الضوء القادم من مصدر (ثقب الشاشة الأولى) يمر خلال ثقبين متجاورين (الشاشة الثانية) ، ويستقبلان على الشاشة الثالثة ، وتبين الصورة المستقبلة شرائط من الضوء والظلام متعاقبة ، تسمى « حزوز التداخل » .

وظهور حزوز التداخل فى تجربة يونج هو دليل دامغ على الخاصية الموجية للضوء . حيث ان الموجات اذ تتداخل فانها تقوى بعضها البعض فى مناطق (مناطق الاضاءة) ، وفى مناطق أخرى تتلاشى فيما بينها (مناطق الاظلام) . ومن البديهى أنه بتغطية أحد الثقبين فان ظاهرة التداخل تختفى .

والأمر المستغرب هو حين نتصور الضوء مكونا من جسيمات ، هى الفوتونات . فعند اضعاف الشعاع الضوئى لدرجة مرور فوتون بعد الآخر من المجموعة ، والتسجيل الأثر التراكمى لوصول آحاد الفوتونات واحدا وراء الآخر لمدة طويلة . وفى التجربة المقابلة لقذف آحاد الالكترونات خلال النظام ذى الشقين . وتستقبل الالكترونات على شاشة وامضة كشاشة التلفاز . ويتكون الشكل النهائى من الومضات المتتالية المعبرة عن وصول الالكترونات واحدا وراء الآخر .

تذكر أننا بسبب عدم اليقين لا نستطيع أن نتكهن بمكان سقوط الفوتون أو الالكترون بالضبط . ولكن متوسطات التأثير المتراكم من القذف المتتالى للفرد الكمى . سيحمل النمط النهائى يتخذ شكلا معينا ،

والأكثر من ذلك . فهذا النمط هو نفسه سلسلة الأشرطة الخاصة عن تسليط الشعاع القوى دفعة واحدة . واللغز هو أن كل جسيم على حدة ، فوتونا كان أو الكترونا ، لن يعبر الا من ثقب واحد ، وينصرف لجسيم حين يصل موضعه ، مصطدما بالشاشة فى مكان واحد . فكيف تعرف الجسيمات فى مجموعها بوجود الشق الآخر ، فتكيف أفرادها نفسها لاحداث نمط التداخل ؟ هل يمكن القول بأن شيئا ما قد عبر الشقين معا كموجة ، ثم استعاد الخاصية الجسيمية عند تحديد موضعه على الشاشة ؟ يا له من أمر ملفت للنظر . حيث ان هذا الشىء يجب أن يكون عالما بمقصدنا . وكيف يعلم كل فرد من هذه الجسيمات بما سيتصرفه زملاؤه حتى يضع نفسه فى الوضع الملائم له من الشكل النهائى ؟ ان هذا لدليل قاطع على الطبيعة الهيولية للنظم الكمية ، والتى فيها تتشكل تصرفات الأشياء فى أنماط ليس لها تبرير طبقا للمنطق الحتمى لنيوتن .

وقد عبر بوهر عن هذا الموقف بوضوح . تخيل أننا أردنا الكشف عن الخاصية الجسيمية للفوتونات عن طريق حصر أماكنها بحيث يمكننا تحديد أى من الثقبين قد عبره كل فوتون . عندئذ ، فانه من نتيجة هذا التدقيق فى الفحص أن يشوش على النمط التداخلى الذى يميز الخاصية الموجية . وعلى ذلك ، فلو أننا أجلسنا مراقبا عند كل ثقب يسجل مرور كل فوتون خلاله ، فان أثر هذه الملاحظات هو ادخال قدر اضافى من عدم اليقين (تطبيقا لمبدأ عدم اليقين) فى تصرف الجسيمات . وان القدر من عدم اليقين هو بالضبط ما يكفى لتحطيم النمط الداخلى ، تاركا بقعتين من الضوء ، كما نتوقع للجسيمات أن تفعل وهى تعبر الشقين ، حيث لا تداخل . وعلى ذلك ، فانه لاظهار الخاصية الجسيمية تتشوه الخاصية الموجية . علينا اذن أن نتعامل مع نوعين متمايزين من المشاهدات ، مشاهدات متعلقة بالخواص الجسيمية والأخرى متعلقة بالخواص الموجية . ان نتائج التجربة اذن تعتمد على مشمول العملية التجريبية بأكملها ، الأجهزة مع الفوتونات (أو الالكترونات) . وليس فقط طبيعة الضوء ذاتها . واذا كان ذلك يشذ عن منطقنا الفطرى ، فلنتذكر أن منطقنا الفطرى مؤسس على التعامل مع أشياء أكبر كثيرا من الفوتونات والالكترونات ، وليس من سبب وجيه يجعله مرشدنا للعالم الذرى .

خلق الحقيقة :

واذا كان ما عرضناه للآن ليس مدعاة للبلبلة بقدر كاف ، فاليك المزيد مما توصل اليه جون هويلر John Wheeler من جامعة تكساس فى أوستن . فقد بين أن الطبيعة الهيولية تمتد ليس فقط خلال المكان بل

وأيضا خلال الزمن . وقد بين هويلر كيف أن القرار بالنسبة للنتيجة التجربة في اظهار أي من الخصيصتين يؤجل الى ما بعد عبور الثقوب . نحن الممكن ان « تنظر للوراء » من موضع الصورة على الشاشة لتعلم من أي ثقب عبر جسيم ما ، أو قد تقرر الا تنظر ، مبقيا على نمط التداخل يتشكل على سجيته . وقرار مجرى التجربة حول أن ينظر أو لا ينظر للخلف لحظة وصول الجسيمات للشاشة ، يحدد اذا ما كان الضوء قد تصرف كجسيمات أو كموجات في لحظة سابقة ، عندما عبر الثقبين عند الحائل الأول .

وقد أطلق هويلر على ذلك تجربة « الاختيار المؤجل delayed choice » . وقد أجرى كارول ألاى Caroll Alley من جامعة ماريلاند تجربة مبنية على هذه الفكرة ، أكدت وجهة النظر هذه تماما . وكان الجهاز المستخدم يتضمن نظاما من أشعة الليزر ، ورغم أن التأجيل في تجربة كهذه لم تزد فترته عن جزء من بليون من الثانية ، الا أن مبدأ خطيرا قد تأكد كحقيقة واقعة . وقد وسع هويلر من الفكرة الى مثال متطرف ، حيث تقدم الطبيعة نوعا من نظام ذي شقين على المستوى الفلكي . قد قدمنا في الفصل السادس أن جاذبية المجرات أو الثقوب السوداء أو حتى الأوتار الفلكية قد تحني الضوء على شكل عدسة . وقد يتخيل المرء مصدرا للضوء على البعد السحيق ، يشبه نجم (كوازار) مثلا ، يبعث بالفوتونات لتجمع في البؤرة على الأرض (الشكل ٣٤) . ومسارا الضوء يلعبان دور نظام الشقين ، حيث ان الشعاعين يمكن ان يتجمعا على شكل حزوز تداخل . فاذا ما استنهض مبدأ الاختيار المؤجل ، فان قرار مجرى التجربة للكشف عن أي من الخاصيتين الجسيمية أو الموجية لضوء الكوازار يؤثر على طبيعة ذلك الضوء ، ليس فقط لجزء من بليون من الثانية من الماضي ، بل لعدة بلايين من السنوات مضت ! وبعبارة أخرى ، فان الطبيعة الكمية للحقيقة تتضمن تأثيرات غير محلية ، يمكنها من ناحية المبدأ ان تنفذ لأغوار الكون وتمتد عبر دهور من الزمان .



الشكل (٣٤) : جرم ذو كتلة كبيرة ، كمجرة أو حتى ثقب أسود ، يمكن أن يلعب دور عدسة هائلة . فالضوء القادم من مصادر بعيدة يمكن أن ينحني لانحناء الفضاء المحيط بالجرم بسبب الجاذبية . والأثر يماثل على نطاق أكبر انحناء الضوء بسبب الشمس (الشكل ١٦) ، ويمكن أن يعطي أكثر من صورة لمصدر الضوء ، كمثل الذي أنتجته الأوتار الكونية (الشكل ٢٩) .

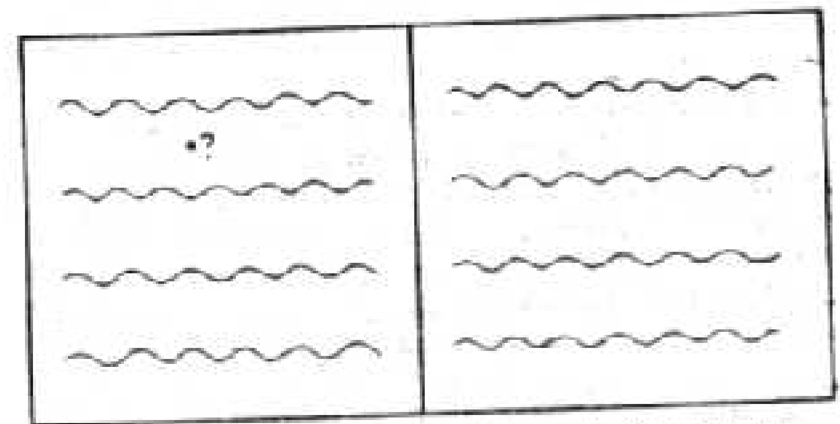
على أنه يجب الانتباه الى أنه لا يمكن استغلال مبدأ الاختيار المؤجل لارسال معلومات الى الماضي . فليس لك مثلا أن تستخدم التجربة لكي تبث اشارة لشاهد آخر عند مصدر الضوء ، أي عند عدة بلايين من السنوات في الماضي . ان أية محاولة لتمكين الشاهد الآخر من الرؤية في المستقبل ، من شأنها أن تشوه الحالة الكمية وتدمر ذات الاشارة التي يحاول الشاهد الأرضي بثها . ومع ذلك . فتجربة الاختيار المؤجل تبين بصورة توضيحية أن العالم الكمي يملك طبيعة هيولية تخترق الزمن والفضاء . فيبدو الأمر وكأن الموجات المادية تعلم مسبقا أي من القرارين سوف يختاره مجرى التجربة .

ولعل أكثر ما في هذه الدراسات من الثورة للقلق هو أنه يبدو أن للشاهد دورا جوهريا في بيان وجه الحقيقة على المستوى الكمي . ولقد أزعج هذا كلا من العلماء والفلاسفة لوقت طويل . ففي عصر ما قبل الكم للفيزياء ، كان كل امرئ يفترض أن العالم الخارجي له خصائص ثابتة ومحددة ، لا تختلف بمراقبتها من عدمه ، أو بكيفية تلك المراقبة . بالطبع قد تتداخل المراقبة في بيان الحقيقة ، حيث اننا لا نستطيع أن نراقب شيئا دون التداخل معه طبيعيا لدرجة ما . ولكن المبدأ هو أن هذا أمر عرضي متعلق بدقة المشاهدة . ويمكن العمل ، من حيث المبدأ على ازالة الخطأ الناتج بسبب ذلك الى أكبر قدر ممكن . أو اجراء التجربة بصورة تأخذ في الحسبان معادلته تماما . ولكن الفيزياء الكمية تقدم لنا نوعا آخر تماما من الحقيقة ، يتفاعل فيها الشاهد مع الشيء الذي يشاهده بصورة لا تقبل الانفصام . فنتائج عملية المشاهدة هي جزء لا يتجزأ من الحقيقة التي يتم الكشف عنها ، ليس لنا أن نقلل من قدرها أو نعمل على معادلتها .

واذا ما كانت المشاهدة هي أمر جوهري في طبيعة الحقيقة الكمية ، فان هذا يؤدي بنا الى التساؤل حول ما يجري حقيقة عند مراقبة الكترون أو فوتون . ولقد ذكرنا من قبل أن الطبيعة الموجية للأشياء المرئية هي بغير ذي وزن يذكر في الحياة العادية ، ولكن مع اجراء التجارب الكمية فانه يبدو أن الخصائص الموجية لأجهزة القياس ، بل والأفراد ، لا يمكن تجاهلها .

ويتضح دور الشاهد فيما يعرف باسم « مفارقة القياس the measurement paradox » . تخيل جدلا أن الموجة الخاصة بالكترون قد احتويناها في صندوق ، وبديهي أن الجسيم ذاته في موضع منه .

نتخيل أننا شطرنا الصندوق شطرين ، وأقمنا حاجزا بينهما (الشكل ٣٥) . فطبقا لقواعد الكم ، فإن موجة الالكترون ما زالت موجودة في كلا النصفين، عاكسة حقيقة أننا في بحثنا عن الالكترون فإنه يحتمل وجوده في أيهما . ولكن المنطق البديهي يفرض أنه لا يمكن أن يوجد الا في أي من النصفين. تخيل الآن شخصا ما نظر بالفعل ، ورأى الالكترون في جزء ما . من الواضح أن الموجة الاحتمالية يجب أن تختفي من النصف الآخر ، حيث علم الآن أنه خاو .

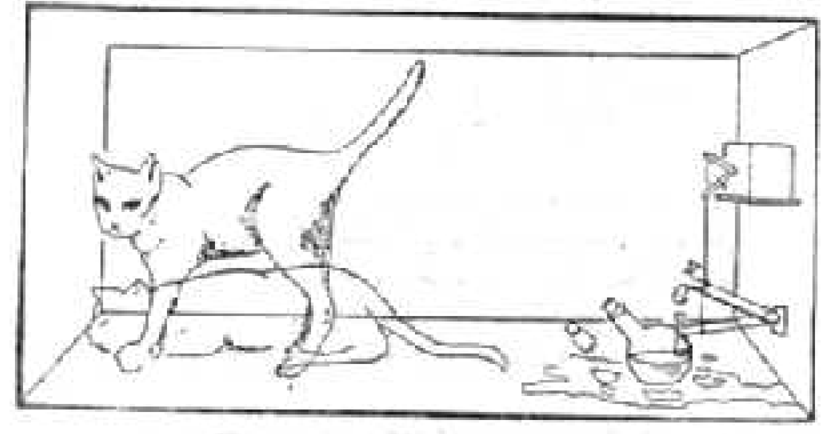


الشكل (٣٥) : الكترون موجود في قسم من صندوق ، ثم وضع فاصل بين الجزأين . الموجة المصاحبة للالكترون منتشرة في الجزأين ، مما يعكس احتمال وجوده في أيهما . بينما يدلنا المنطق البديهي أن الالكترون ، بكونه جسيما يجب أن يكون في أحد النصفين .

ان ما جرى بالنسبة للموجة ، وهو ما يطلق عليه غالبا « انهيار المعادلة الموجية collapse of wave function» يبدو أنه كان بسبب عملية المراقبة . فإذا لم يقم بها أحد ، فلن تختفي أبدا . وعلى ذلك ، فيبدو أن تصرف جسيم كالالكترون تعتمد على كونه تحت المراقبة أم لا . هذا الأمر مزعج للغاية عند الفيزيائيين ، ولكن قد لا يكون بهذه الأهمية لدى العامة . فمنذا الذي يهتم حقيقة بما يفعله الالكترون ونحن لا نراقبه ؟ ولكن المسألة تتجاوز الالكترونات - لو أن الأشياء المرئية تمتلك خاصية موجية ، فإن حياد الحقيقة لكافة الأشياء سوف تذهب أدراج رياح الكم .

ويشعر الكثير من الفيزيائيين بعدم الارتياح لفكرة وجود خواص موجية للأشياء المرئية ، تلعب دورا في نتائج التجارب التي تجرى عليها . والسبب هو امكانية تصور شكلين موجيين متداخلين ، بينما يمثل كل

منهما حالة مناقضة للحالة الأخرى . وأشهر مثال متخيل لذلك هو ما يسمى « قطة شرويدنجر » . فقد تخيل شرويدنجر قطة محبوسة في صندوق يحوى قارورة بها مادة السيانيد السامة ، ومطرقة فوقها (الشكل ٣٦) ، ومادة مشعة ، تشع جسيم ألفا بعد فترة من الزمن ، وهو ما يمكن الكشف عنه بعداد جيجر . ولنتصور أن التجهيز بحيث أن جسيم ألفا حين اشعاعه يتسبب في انزال المطرقة على القارورة فتكسرها ، مسببا وفاة القطة في الحال .



الشكل (٣٦) : تصوير لتجربة قطة شرويدنجر ، تبين حالة ممتزجة لقطة حية وميتة في آن واحد (تنويه لمحبي القطط ، هذه تجربة ذهنية) .

لنا أن نتصور أنه بعد فترة من الزمن أصبح جسيم ألفا محتبسا جزئيا في النواة ، لم يؤذن له بعد بالتسلل عبر النفق ، وجزئيا قد تسلل بالفعل . وهو ما يمثل الاحتمال المساوي للحالتين . والآن ، فإن كل عناصر التجربة ، عداد جيجر ، والمطرقة ، والسم ، والقطة ، كلها تعامل كموجة كمية . للمرء اذن أن يتصور وضعين . في الأول لم اشعاع الجسيم ، وسقطت المطرقة ، وماتت القطة . والوضع الآخر لم يحدث شيء من ذلك ، والقطة على قيد الحياة . وبما أن الموجة الكمية يجب أن تحتوى على كل الاحتمالات ، فإن الوصف الكمي لمحتويات الصندوق بأكملها يجب أن يتكون من شكلين موجيين متداخلين ، الأول هو المعبر عن حياة القطة ، والثاني يعبر عن وفاتها . في هذه الحالة المختلطة ، لا يمكن اعتبار القطة حية قطعا أو ميتة قطعا ، ولكن في حالة محيرة بين الحالتين : هل معنى ذلك أنه بامكاننا أن نصمم تجربة نكتشف بها عن هذه الحالة القلقة ، القطة حية ـ ميتة ؟ كلا ! فحين يفتح المشاهد الصندوق

ليرى ما بداخله ، فانه سوف يرى احدى الحالتين . يبدو الأمر كما لو كانت الطبيعة تؤجل قرارها بشأن الحيوان المسكين الى ان يقرر احدهم اختلاس النظر . ولكن هذا يثير السؤال البديهي : ما الذي يجري حقيقة حين لا ينظر أحد ؟

ومن الواضح من تصور تطبيق الخواص الموجية على الأشياء المرئية، والحية منها ، أنها تثير قضايا عميقة حول طبيعة الحقيقة ، والعلاقة بين المشاهد والعالم الفيزيقي . وقد وضع مثال القطة السابق عمدا ليصور بدرجة مبالغ فيها الطبيعة المتناقضة لأعاجيب العالم الكمي ، ولكن نفس الظاهرة تحدث كل مرة يشع فيها جسيم ألفا من نواة ، وتمارس دورها بلا كلل على المادة المشعة في عقارب ساعاتنا الضوئية .

ولم يحدث اتفاق بين الفيزيائيين على حل معضلة قطة شرودنجر . فيذهب البعض الى أن ميكانيكا الكم تفشل عند مستوى المرئيات ، ويذهب رأى آخر الى ان ميكانيكا الكم لا تقول لنا شيئا عن الأفراد ، من جسيمات او قطط ، بل عن الأعداد الغفيرة منها على صورة احصائية . ولكن ذلك يعتبر مراوغة عن اجابة السؤال حول ما يحدث للقطة بالفعل .

ولعل أكثر محاولات تفسير هذه الغرائب الكمية هو ما يسمى بنظرية الاكوان المتعددة **many universes theory** او التواريخ البديلة (**alternative historics**) ففي موضوع لتجربة القطة ، تقول النظرية ان الكون قد انقسم لنوعين من الحقائق المتعايشة ، او المتوازية ، لقطة حية والأخرى ميتة . ورغم ان الأمر يبدو كالخيال العلمي ، فان النظرية تتفق تماما مع ميكانيكا الكم ، ولها انصار عديدون ممن لهم وزن في علم الفيزياء ، ولسوف نلقى نظرة أكثر تفحصا لهذه النظرية عما قريب .

وقد وضعت نظرية العوالم المتوازية كما رأينا لتحل معضلة جوهرية متعلقة بطبيعة الحقيقة كما تبدو داخل العالم الذرى ودون الذرى . فبسبب خاصية الازدواج الموجى – الجسيمى لكينونات مثل الالكترون ، فانه من المستحيل أن تضع لها بعض الخواص ، كأن تكون لها مسار محدد في الفضاء ، كما تعودناه بالنسبة للأشياء المرئية كمسار طلقات الرصاص أو مدارات الكواكب . وعلى ذلك ، فانه اذا ما انتقل الكترون من الموضع (أ) الى الموضع (ب) ، فان مساره يكون مشوشا تبعا لعدم اليقين الكمي كما صاغه هيزنبرج . أو احدى صياغات المبدأ تقول انه من المستحيل أن تقيس الوضوع والسرعة معا لجسيم كمي . أما الصياغة

الأخرى . فتقول ان الجسيم ليس له بالفعل قيم محددة للموضع والسرعة في نفس الوقت . فاذا ما اردت قياس الموضع بدقة ، فسيكون ذلك على حساب الدقة في السرعة ، والعكس بالعكس . انه لتوجد مقايضة تقول الحدود بين القيمتين ، فيمكنك الوصول لدرجة دقة المعلومات كما تشاء ، ولكن على حساب الدقة في معلومة أخرى .

وقد صادفنا مبدأ عدم اليقين عند حديثنا عن الهيولية الكمية ، والفراغ ، ومنشأ الزمن . وهو نفس عدم اليقين الذى يؤثر في الطاقة وفي الزمن ، ويخبرنا كيف ان الجسيمات التقديرية تبزغ لنا من اللاشيء لتختفي على التو . هذا القدر من عدم اليقين لا ينبع من قصور بشرى ، بل هو خصيصة كامنة في الطبيعة . فمهما حاول المرء من تحر للدقة ، ومن تطوير لقوة الأجهزة ، فلن تقهر الغموض الكامن في عدم اليقين الكمي .

والمقايضة بين الدقة في الموضع ومثلها في السرعة هي مثال آخر للتكاملية الكمية في ممارستها لدورها . فقد اتضح أنها على علاقة وثيقة بتكاملية الجسيم – الموجة . فالموجة المصاحبة للالكترون هي بطبيعتها شيء منتشر ، ليس له موضع محدد ، رغم أنها تحوى شفرة عن المعلومة المتعلقة بالسرعة . وفي المقابل ، فالجسيم المصاحب للالكترون هو بطبيعته شيء يحتل موضعا محددا ، ولكن موجة تضاءلت الى نقطة لا تحمل معلومة عن سرعة الالكترون . ان لك قياس موضع الالكترون ، حينئذ لن تعرف (ولا هو) كيف يتحرك . ولك ان تقيس السرعة للالكترون ، ولن يتاح لك أو له تحديد مكانه .

معضلة اينشتين

في بداية عصر نظرية ميكانيكا الكم ، انقسم العالم الفيزيائي بشأن نتائجها الشاذة معسكرين ، كان على راس الأول نيلز بوهر ، وضم الذين تقبلوا تماما المضمون غير الحتمي للنظرية ، وأصروا عليه كخصيصة جوهرية للعالم الكمي . وكان على رأس المعسكر الثاني آينشتين ، العالم الذى لا ينكر قدره ، والذى أصر على ان النظرية تعتبر غير تامة طالما أنها تذهب لهذه المقولات غير المنطقية . وكما اسلفنا القول ، فقد كان آينشتين يأمل في أن يكون وراء عالم الكم المخيب حقيقة حتمية للأشياء والقوى التي تتفاعل بالصورة التقليدية طبقا للأسباب والنتائج . وقد افترض ان ملامية نتائج التجارب هي نتيجة للقصور فيها ، معتقدا أن أجهزتنا ليست مهيأة بطبيعتها للكشف عن التفاصيل الدقيقة للمتغيرات التي تكمن

وراء تلك المسالك الغريبة للجسيمات دون الذرية . أما بوهر فقد ذهب الى أنه ليس لهذه الهيولية سبب ما . وأن ساعة نيوتن الكونية المنضبطة قد ولى زمانها . وبدلا من قواعد صارمة للأسباب والنتائج . فان المادة تخضع لقوانين الصدفة . فلعبة الطبيعة أقرب للعبة الروليت ، منها للعبة البلياردو .

وقد تركز أغلب الجدل حول الحقيقة الكمية على شكل « تجارب ذهنية thought experiment » . كتلك التي عرضنا لها في قطة شرويدنجر . وقد دار الصراع بين آينشتين وبوهر على هذه الصورة ، حيث يضع آينشتين موقفا تخيليا يتوسم فيه أنه سيفحم بوهر . ويقوم بوهر من ناحيته بتفنيد الموقف . واستمرت اللعبة الى أن كف آينشتين عن محاولته ، مركزا على محاولة بيان النقص في النظرية . ومعنى ذلك أن آينشتين ربما يكون قد اعترف مكرها بما في النظرية الكمية من حقيقة ، ولكنه لا يرى فيها كل الحقيقة .

وانصب الجدل حول عدم اكتمال النظرية على مبدأ عدم اليقين . وقد أراد آينشتين أن يبين مثلا . أن للالكترون موضعا محددا ، وسرعة محددة في نفس الوقت ، حتى ولو كانت أجهزتنا تقصر من احتواء المعلومتين عند قياس الأخرى . وقد حاول تخيل طريقة يبين بها أن عنصرا من الحقيقة ، يمكن أن يلحظ في نفس الوقت بالصفتين المتكاملتين . وكانت أقوى محاولاته ، والتي صاغها مع زملائه ناثان روزن Nathan Rosen وبوريس بودولسكي Boris Podolsky تفترض الحصول على معلومتي الوضع والسرعة لجسيم باستخدام جسيم آخر . فحين يرتد الجسيم الثاني عن الأول الذي هو محل بحثنا ، فانه يحمل معه معلومات عن موضع وسرعة الجسيم الأول . بالضبط كما تحمل كرة البلياردو المرتدة معلومات عن سرعة واتجاه الكرة التي اصطدمت بها ، من القوانين المعتادة للتصادم :

لنفرض أن لدينا جسيمين (أ) و (ب) ، تصادما وتباعدا الى مسافة كبيرة . ان لنا الآن أن نقيس موضع أو سرعة الجسيم (ب) . فاذا قسنا الكمية الأولى ، فسيعطينا ذلك دليلا على موضع (أ) . ولكن بامكاننا أيضا أن نقرر قياس سرعة (ب) . ونستنبط منها سرعة (أ) . ورغم أن قياس موضع (ب) سوف يؤثر على قياس موضعه ، والعكس بالعكس . فان عملية القياس التي تجرى على (ب) لن تؤثر على (أ) . لما بينهما من تباعد . وفي النهاية لن يمكن للقياس الذي يتم على (ب)

أن يؤثر على (أ) ، حين يبلغ التباعد بينهما مسافة سرعة الضوء . وهو الحد الأقصى للسرعة كما تحدده النسبية . وعلى ذلك ، فان القياس الذي يجرى على (ب) لن يؤثر على (أ) .

ويبدو أن ذلك قد حسم المسألة . حيث أنه بما أن المشاهد يمكنه قياس سرعة (ب) أو موضعه ، مستشفا من ذلك القيمة المقابلة لـ (أ) ، وبدون أي تأثير على هذا الأخير ، فانه بالتأكيد لابد أن لـ « عنصري الحقيقة معا » لحظة القياس . كما أنه يمكن تصور قياس موضع (أ) باستخدام القياس على (ب) ، وقياس سرعة (أ) عليه مباشرة ، فنكون قد حصلنا على القيمتين المضبوطتين معا في نفس الوقت . ومن ثم فقد ذهب آينشتين الى أنه من حيث المبدأ يمكن معرفة الموضع والسرعة لجسيم في نفس الوقت . وقد بدا له أن عدم اليقين لن يتحقق الا اذا تحقق بين الجسيمات « تأثير غامض على البعد » ينتقل بأسرع من سرعة الضوء ، متحديا النظرية النسبية .

ورغم أن بوهر قدم رده على هذا الجدل ، فان المسألة ظلت في طي التجربة الذهنية الى الستينيات . فقد مد جون بل John Bell في مختبر المركز الأوربي للأبحاث النووية CERN التجربة على زوج من الجسيمات الى مدى من العمليات أوسع ، مستنبطا القواعد التي يجب أن تخضع لها الجسيمات لكي تتفق مع منطق آينشتين في تصوير الحقيقة . ووجد بل أن ذلك يقتضي تحديدا رياضيا أطلق عليه « متباينة بل Bell inequality » ولأول مرة أصبح من الممكن أن نختبر هذه الأفكار معمليا . وأجريت التجارب للتحقق من صحة اللامساواة المذكورة ، وبالتالي انتصار رأي آينشتين ، أو عدم صحتها ، فيكون هو الخاسر . وازدادت التجارب دقة على مر السنوات ، حتى بلغت أوجها على يد آلن أسبكت Allan Aspect من جامعة باريس عام ١٩٨٢ ، والتي حسمت الموقف بخسارة آينشتين المعركة . فما معنى ذلك ؟

اذا ما استبعدنا التأثير الأسرع من سرعة الضوء ، كان ذلك يعني أنه ما أن يؤثر جسيم في آخر ، حتى يظل الاثنان مترابطين بصورة ما ، فيشكلان واحدا نظاما لا ينفصم . والخاصية « عدم المحلية » هذه مضامين خطيرة ، فلنا أن نتصور الكون شبكة مهولة من أجسام مترابطة ، كل رابطة تجمع بين أطرافها في نظام كمي موحد . وعلى الرغم من أن الكون — من الوجهة العملية — من التعقيد لدرجة عدم ملاحظة الترابط الخفي الا في تجارب معينة كتلك التي أجراها اسبكت ، الا أنه توجد نكهة كمية قوية في وصف الكون .

وقد نقضت تجربة اسبكت على آمال آينشتين فى أن يكون وراء عدم اليقين الكمى قوى خفية تمارس نشاطها . فلابد أن نتقبل وجود عدم تحديد كامن لا يتخلص منه فى الطبيعة . فالالكترون وغيره من الجسيمات الكمية ليست لها مواضع وسرعات محددة الا اذا أجريت تجربة عملية القياس أى من تلك القيم . فعملية القياس هى التى تجعل الهلامية تتحول الى نتائج محددة قاطعة . ان هذا المزيج من عدم اليقين مع انهيار الدالة الموجية هو ما يؤدى لمعضلة القطة . ولكنا الى الآن لم ننظر الا لصورة مبسطة للغاية من اللغز . فما الذى يحدث حين نطبق ما تعلمناه منه على الكون فى مجموعه ؟

ان مضمون خرافة القطة الحية والميتة لننتظر شخصا ما يختلس النظر فى الصندوق حتى يتحدد مصيرها ــ يبدو سخيفا ، لأنه يفترض أن القطة نفسها تعلم ان كانت حية أم ميتة . ألا تمثل هذه المعرفة جزءا من الملاحظة المؤدية لانهيار الدالة الموجية الى حالة محددة من الحالتين ؟ أليس من المؤكد أن الملاحظات الكمية لا يشترط أن تكون مقصورة على البشر حين ينظر اليها كمحددة لحالة من حالات الحقيقة ؟ واذا كانت القطة صالحة للقيام بالمهمة ، فماذا عن النمل ؟ وعن البكتيريا ؟ أم تراه بامكاننا أن نتخلى كلية عن عنصر الحياة ، ونترك المهمة لحاسوب ، أو كاميرا ؟

وفيما يتعلق بالعالم الخارجى للصندوق ، فانه بامكاننا النظر للمختبر بأكمله كصندوق كبير . فاذا ما نظر المراقب داخل الصندوق وحدد مصير القطة ، فان زميلا له بالحجرة المجاورة قد لا يعلم ذلك ، فهل الموجة الكمية للمختبر ككل تتلاشى لو أنه دخل من الباب وسأل عن حالة القطة ؟ من المؤكد أن هذا يؤدى بنا الى تسلسل لا نهاية له . كل نظام كمى يمكن أن ينهار الى حالة محددة حين يشاهد من نظام خارج عنه . ولكن النظام الأكبر يظل فى حالة اللاتحديد حتى يراقب من نظام أكبر ، وهكذا .

وقد اقترحت أفكار عديدة للخروج من هذا المأزق . وأحد هذه الأفكار المثيرة للجدل الشديد هو ادخال عنصر الوعى فى الموضوع ، بافتراض أن التسلسل يقف عندما تدخل النتيجة عقلا مدركا . ويدخل هنا عنصرا شخصيا على العالم ، حيث انه يجبرنا على تصور أن العالم الخارجى لا يوجد فى صورة محددة حتى نراقبه ، ويبدو ذلك وكأننا لا نراقب العالم الخارجى ، بل نصنعه .

والكثير من العلماء مقتنع بتجاهل هذا التسلسل اللانهائى ، على أساس أنه مهما كان كبر مختبرهم ، فما يزال هناك الكون بأسره كعالم خارجى يمكن أن يسبب انهيار محتويات المختبر الى حقيقة مؤكدة . ولكن الفلكيين ليس لديهم هذا الخيار ، فمختبرهم هو الكون ذاته ، وليس خارجه شئ يراقبه .

الحقيقة المتعددة

هذا هو المنطلق الذى يبدو أن تفسير العوالم المتعددة قد فرض نفسه علينا . وبلغة العلم الجاد ، فى مقابل الخيال العلمى ، ترجع الفكرة الى عام ١٩٥٧ ، مع أعمال الأمريكى هوج افريت Haugh Everett وقد أدخلت عليها التحسينات منذ ذلك الحين . وكما ذكرنا من قبل ، فان فكرة الأكوان المتعددة قد ظهرت لكى تحل معضلة القطة بافتراض أن الكون منقسم الى نسختين ، يتعايشان متوازيين . وليس من بأس اذن فى تطبيق الميكانيكا الكمية على الكون بأسره ، طالما أننا مستعدون لتقبل فكرة الخيالية لحد ما ، بأن الكون ينقسم باستمرار الى نسخ لا حصر لها قريبة الشبه من بعضها البعض ، كل نسخة تقابل حالة من الحالات المحتملة للتفاعلات الكمية . وتفترض نظرية افريت نوعا من تعدد الحقائق ، يتعايش فيها عدد لانهائى من الأكوان . ورغم ما فيها من غرابة ، فان الصياغة الرياضية لها تتفق تماما مع الميكانيكا الكمية فى صورتها التقليدية ، ويتمثل وجه الجدة فيها فقط فى تفسير الكميات التى تظهر من المعادلة .

والحجة الواضحة ضد الفكرة أننا نعايش فقط وجها واحدا من الحقيقة ، فى كون واحد ، فأين الباقون ؟ وحتى نفهم الاجابة علينا أن نأخذ صورة أرحب لمفهوم الزمكان الذى عرضنا له فى ثنايا هذا الكتاب . حين ينقسم الكون الى عدة نسخ ، فان كل نسخة لا تحتوى فقط على نسخ من الأشياء المادية ، بل على مكان وزمن أيضا ، بمعنى أن كل كون « جديد » يتولد ومعه فضاؤه وزمنه . والعوالم الأخرى ليست « هناك » بالمعنى الدارج ، فليس بالامكان الوصول اليها من عالمنا ، بل هى زمكانات تامة فى حد ذاتها . ونحن حين نسأل عن مكان شئ ، نفترض عادة أنه على بعد وفى اتجاه ما منا . ولكن عوالم افريت ليست فى كوننا بالمرة ، فهى ليست على بعد معين أو فى اتجاه معين بالنسبة لنا .

وقد يكون من الصعب أن نتصور ذلك . ولكن الواقع هو أن عدم قدرتنا على التصور لعدة زمكانات لا يلغى احتمال وجودها من الوجهة المنطقية . فما زال بامكاننا أن نصفها رياضيا . على أن قدرا من التخيل

مفيد . وأحد الاحتمالات هو تخيل هذه العوالم منضدة فوق بعضها كصفحات في كتاب . وفي هذا التجمع الثنائي الأبعاد تمثل كل صفحة كونا متكاملا . أي زمكانا ومادة . ويختلف شكل كل كون قليلا تبعا للخيارات الكمية المتاحة له . ويتحركنا من صفحة لأخرى . مبتعدين عن الصفحة التي اخترناها مرجعا لنا . تتراكم الفوارق .

وأحيانا نصور الأكوان المتعددة كأفرع الشجر . . الجذع . يمثل كونا معينا . هو الذي نشير اليه كنقطة مرجعية لنا . والذي يتفرع ثم يتفرع في احتمالاته الكمية المختلفة . ولنا أن نتصور شريحة أفقية عبر كل هذه الأفرع عند لحظة معينة . تتقاطع خلال الجمع بأكمله من أكوان نمت جميعا من الكون الأصلي . وبوجه عام . فالجذع ذاته هو فرع من شجرة أكبر تقدما . تمتد للانهائية .

وحين سمع الناس لأول مرة عن النظرية اعترضوا بأنهم لا يشاهدون مثل هذا الانقسام . ولكن الخصيصة الأساسية في النظرية أن المشاهدين البشريين ليسوا استثناء من عملية الانقسام . فهي تتم بالنسبة لهم أيضا . ففي مثال القطة التي ينقسم الكون فيها الى كونين . يكون ذلك بكل شيء بما فيه المختبر والمراقبون . وفي كل نسخة ينظر المراقب ليرى مصير القطة . فيراها أحدهم حية ويراها الآخر ميتة . وكل مراقب يقع في الخطأ الشائع وهو أن الحقيقة تكمن فيما يراه هو .

الا أن هناك تعديلا آخر لفكرة الأكوان المتعددة . تتمثل في استبعاد الانقسام . وتصور وجود نفس العدد دائما (في الواقع عدد لانهائي) من الحقائق المتوازية . ولكن في كل لحظة يكون عدد من النسخ متطابقة بالضبط . ففي مثال القطة . لنا أن نتخيل كونين موجودين قبل التجربة . ولكن غير متمايزين بالمرة . وفي لحظة اجراء التجربة يتمايز الكونان بوجود القطة حية في أحدهما وميتة في الآخر .

ومن الطبيعي أن يثور التساؤل حول امكانية السفر عبر تلك الأكوان . أو على الأقل الاتصال بها . والاجابة هي أنه بالنسبة للمجرى العادي للأمور فان هذا غير ممكن . فليس لنا للأسف أن نلجأ لفكرة الحقائق المتوازية لتفسير وجود الأشباح أو الكائنات غير البشرية أو الأجسام الفضائية الغامضة . فنظرية افرت مؤسسة على أن الأفرع المختلفة لكون ما (أو أكوان) هي صور تبادلية للحقيقة . منفصلة فيزيائيا .

وهذا هام لكي تحل مفارقات القياسات الكمية . وتحاشي الشعور بالانقسام .

ولكن . كما وضحنا في أمثلتنا لعفريتي مرنا . فان القياس كما نفهمه عادة هو ما يحدث حين نرى تغيرا على المستوى المرئي . كنبضة لعداد جيجر أو حركة في مؤشر (أو حالة صحية لقطة) . وتسجل أدمغتنا هذه الحوادث بدرجة دقيقة لكون الأجهزة وعقولنا كينونات مرئية . تتحاشى التغيرات على المستوى الكمي . ومن الممكن مع ذلك تصور كائن واع تعمل حواسه وذاكرته على المستوى الكمي . وفي الواقع . فان علماء الحاسوب يعملون جادين على انتاج أجهزة على المستوى الجزيئي أملا في تصغيرها أكثر من انتاج في الأجيال الحالية . وقد اقترح الفيزيائي البريطاني ذائع الصيت ديفيد دويتش David Deutch تجربة مؤسسة على هذا التصور . والتي فيها يبدو من الممكن اجراء اتصال فج بين العوالم المتوازية .

وفي تجربة دويتش . يطلب من عقل كمي (سواء أكان طبيعيا أم صناعيا) أن يجرى تجربة كم تقليدية ذات خيارين . مثلا . أن يراقب انحراف الكترون الى اليمين والى اليسار من هدف معين . وطبقا لنظرية العوالم المتوازية . فان هناك كونا للالكترون المتجه لليسار .

والآن . فحين نرقب الكونين ينقسمان أو يتمايزان . فاننا نفعل ذلك بصورة غير قابلة للانعكاس . فنحن لا نستطيع . على المستوى المرئي . أن نتصور التطورات التي فيها يعود الكونان للاندماج . أو يصبحان متماثلين مرة أخرى . فمن الواضح أن حادثة كموت القطة هي غير منعكسة . أما على المستوى الذرى فمن المتصور أن تكون الحوادث انعكاسية تماما . فمن السهل تصميم تجربة على المستوى الذرى يتعرض جسيم فيها لتجربة ذات خيارين . ولكن الحالة تعود من حيث البدء للوضع الابتدائي .

وباختصار . فانه على المستوى الذرى يمكن للعوالم أن تنقسم وتندمج عن طريق التحكم المناسب . هذه الحالات التوصية لا يمكن لنا أن نراها معا . لأنه بمجرد أن نحاول مشاهدتها ندخل عليها تأثيرا مرئيا لا انعكاسيا يؤدى لانقسام العوالم نهائيا . أما العقل الكمي الذي تصوره دويتش فيمكنه مشاهدة الأشياء دون أن يسبب هذا الانقسام الدائم . فهو يمكن أن يسجل الحقيقة التوصية . بدون أن يحول دون عودة اندماجها بعد انقسامها المؤقت . وفي مرحلة الانقسام . يمكن للعقل أن ينقسم الى

نسختين ، تندمجان بعد التجربة ، وتحمل كل نسخة ذاكرة مختلفة عن تصرف الالكترون فيد الشاهدة . فالعقل المدمج مجهز بذاكرتين ، ويمكنه ان يخبرنا عن الحوادث كيف كانت في كلا العالمين المحتملين . وبهذه الطريقة البسيطة ، يمكننا بالفعل الحصول على معلومات حول اكثر من وجه للحقيقة .

ولتعتمد تجربة دويتش على ذكاء على المستوى الكمي ، وعلى الرغم من أن هذه الأفكار قد أخذت بجدية من بعض خبراء الذكاء الاصطناعي ، فما هو مجمع عليه انه سيمر وقت طويل قبل تحقيق شيء من هذا القبيل . وأثناء ذلك ، من المثير أن نسأل عن اية شواهد غير مباشرة لوجود الحقيقة المتعددة

المصادفات الكونية

على مدى السنوات الماضية ، كان الفيزيائيون والكونيون فى تأثر بالغ لحقيقة أن الكون الذى نعايشه مبنى على مجموعة من الصدف السعيدة . ويكفى ذكر عدد منها على بيان الفكرة .

واحد لأهم هذه الصدف هو استقرار النواة . تذكر حديثنا عن اشعاع ألفا ، والذى بدأنا به حديثنا عن عجائب الكم . فمكونات النواة مترابطة ، كما قلنا ، بواسطة قوة نووية شديدة . فاستقرار النواة مبنى على التوازن بين القوة الشديدة ، وقوة الاشعاع الكهرومغناطيسى ، وتأثير النفق الكمى . والعدد المتاح من هياكل النواة التى يمكنها أن تستقر تحت هذا التوازن قليل للغاية .

ويضرب لنا فريمان دايسون Freeman Dayson مثلا محددا ، فلو أن القوة الشديدة كانت أقوى بنسبة بسيطة ، لضمت كل بروتونين فى رابطة مستقرة ، بما يقاوم التنافر الكهربى بينهما ، دون حاجة لمساعدة من نيوترون أو أكثر . ولو تم ذلك فان أحد البروتونين كان سيتحلل الى نيوترون ، مكونا ديوترون . وهى نواة الديوتوريوم ، وهو وقود نووى فعال ، كان من شأنه أن يحرم الكون منذ عهد الانفجار العظيم من تكون البروتونات الحرة ، ومن ثم ذرة الهيدروجين التى تعتبر حجر البناء الأول للكون كله . ولما تكون الكون وكانت الحياة على الصورة التى نعايشها الآن .

وبنفس الدرجة الدرامية ، نجد نفس التداعيات لو أن القوة النووية كانت أقل بنسبة ضئيلة بالنسبة لقوة التنافر الكهربى ، حيث لم تكن الذرات لتتكون . وتفسى هذا التوازن الدقيق متحقق بين بقية قوى الطبيعة .

فقد بين الكونى براندون كارتر Brendon Carter كيف أن تكوين النجوم يعتمد على توازن دقيق بين الجاذبية وقوة الكهرومغناطيسية . شمسنا نجم أصفر ذو حجم متوسط ، تتوقف الحياة على الأرض على طبيعته الأساسية . ولو أن تلك القوى كانت فى تناسب مخالف قليلا لما هى عليه ، لما تكونت نجوم مثله ، بل لكانت اما عمالقة زرقاء أو أقزاما بيضاء ، بحسب فى أى جانب مال التوازن .

عدم « الصدف » الظاهرية ، وربما المزيد عن شاكلتها ، قد ألمحت بعض العلماء أن هيكل الكون الذى نشاهده حساس بدرجة مثيرة للدهشة لأدنى تغير فى القيم الأساسية للطبيعة ، كما لو كان هذا التنظيم التلقى للكون نتيجة ضبط دقيق . أما ظهور الحياة على وجه الخصوص ، وما تلاها من مخلوقات عاقلة ، فهو نتاج ضبط غاية فى الدقة ، لحساسيتها البالغة للظروف التى أوجدتها .

وتبدو للبعض هذه الصدف الاتفاقية فى العالم الفيزيقى ، وكأنها تآزرت عمدا للسماح للانسان العاقل بالوجود ومراقبة الكون ، تأكيدا للايمان بوجود خالق مبدع . أما البعض الآخر ، فيلجئون لنظرية تعدد الأكوان كتفسير لوجود هذه الصدف الفلكية . فاذا ما وجد حلقة مصفوفة لا نهائية من الأكوان ، كل كون يحقق اختلافا طفيفا للاحتمالات الكمية ، فالباب مفتوح اذن لأية صورة لكون مهما كانت درجة تميزه أو حساسية تشكيله . وعلى ذلك فليس مستغربا أن يكون الكون الذى نعايشه على هذه الصورة من التوازنات الدقيقة ، حيث انه فقط فى مثل هذا الكون (أو الأكوان) والذى تتهيأ فيه الظروف الدقيقة لوجود الحياة العاقلة سيوجد مراقبون يتفكرون فيما يحدث .

واذا صح هذا الرأى ، فان البقية الغالبة من الأكوان تكون غير مأهولة ، وتمضى بلا مراقبة . فقط عدد متناه فى الصغر ـ عدة صفحات من سفر الأكوان الضخم ـ ستتحقق فيه كل هذه المصادفات . ونحن لم نعهد متناه فى الصغر من كل هذه الأكوان قد تم الادراك به .

مثل هذا المنطق ، والذي يعرف بالمبدأ الأنثروبولوجي anthropic principle ، قد عرضنا له باختصار في الفصل الثاني ، في معرض حديثنا عن قوانين الفيزياء بوجه عام . وهو قد يقدم دليلا عرضيا على وجود الأكوان المتعددة ، ولكن الكثير من العلماء يميلون لافتراض وجود الخالق الأعظم . وإلى أن نتمكن من بناء العقل الكمي الفائق ، فإن الصحف الفلكية تعطي أفضل دليل على تصور الأكوان المتعددة .

والمزيد من الجدل حول الموضوع أمر غير مجد ، إلى أن يتحقق الذكاء الكمي . وفي الأثناء ، ومتسلحين بفهم أعمق للعمليات (والغرائب) الكمية ، يمكننا أن نسبر لأغوار أعماق أسرار الفضاء والزمن كما يعرضها العلم الحديث .

هوامش الفصل السابع

(١) اللهم إلا إذا تغيرت درجة الحرارة مثلا .

(٢) حاز كل من دافيسون وتومسون على جائزة نوبل عام ١٩٣٧ لإجراء هذه التجربة التي أيدت تنبؤ دبرولي في الموجات المادية ، ولعلها أخطر تجارب القرن العشرين على الاطلاق - (المترجم) .

الفصل الثامن

الشبكة الكونية

الأسطورة المادية مبنية على خرافة أن الكون الطبيعي ليس مكونا إلا من أجسام من مادة خاملة تتدافع وتتصادم كمثل الآلات الميكانيكية منضبطة التصميم . وقد رأينا كيف أن الفيزياء الحديثة ، وبأكثر من طريقة ، قد وضعت حدا لهذا التصور . وقد سحبت الميكانيكا الكمية على وجه الخصوص البساط من تحت أي تصور ميكانيكي مبسط . وقد وجدنا كيف أن اللامحلية الكمية تمنع أي تصور للاستقلالية بين الكيونات، حتى بين الجسيمات المتباعدة تباعدا كبيرا . وحين تمتد ميكانيكا الكم لتشمل مفهوم المجال ، وهو فرع من العلم يسمى النظرية المجالية الكمية quantum field theory ، فهي تقدم لنا عالما من الأعاجيب ذا نشاط مهول ، كالجسيمات التقديرية وتهييج الفراغ ، فحتى تماسك المادة الطبيعية قد تميع إلى صورة من تهييج أنماط غير متجسدة للطاقة .

وتخلق النظرية المجالية الكمية صورة لكون تغطيه شبكة من التفاعلات المتبادلة تنسجه في كل متكامل . وكما قدمنا ، فقد تعرف العلماء على أربع قوى أساسية في الطبيعة : الكهرومغناطيسية والجاذبية والنووية الشديدة والنووية الضعيفة . ثلاث من تلك القوى يمكن وصفها بدقة بلغة نظرية المجالات الكمية ، كجزء من الشبكة الكونية . ولكن الجاذبية قاومت بعناد أن تنصهر في هذه البوتقة . ويعتبر هذا قصورا شديدا في وصفنا للطبيعة . وكما رأينا ، فالنسبية العامة تربط الجاذبية

برباط وثيق بهندسة الزمكان . وبوصفها هذا تمثل أساسا من أحد أساسين راسخين للعلم الحديث . وتمثل النظرية الكمية الأساس الثاني . ولكن الحقيقة الحالية هي أن التزاوج بين النظريتين لا يزال أمرا غير متحقق .

وليس من السهل التجاوز عن هذه الصعوبة . لأن تناسق النظرية الكمية يتطلب أن تكون الطبيعة بأسرها خاضعة لقواعد الكم . وإذا لم يتحقق ذلك ، فإنه يكون من المتصور إجراء تجربة في نطاق الجاذبية ، تخرق مبدأ عدم اليقين مثلا . ولقد تزايد انفعال الفيزيقيين مؤخرا لفكرة أنه عندما تأخذ الجاذبية وجها جديدا تماما ، فلن يصبح من الممكن فقط أن تعطي وصفا كميا مناسبا ، بل سوف يتحقق توحيد قوى الطبيعة الأربع في قوة فائقة موحدة ، مما يؤدي لتحقق شبكة كونية حقيقية متناسقة .

فوتونات الضوء تضيء الطريق

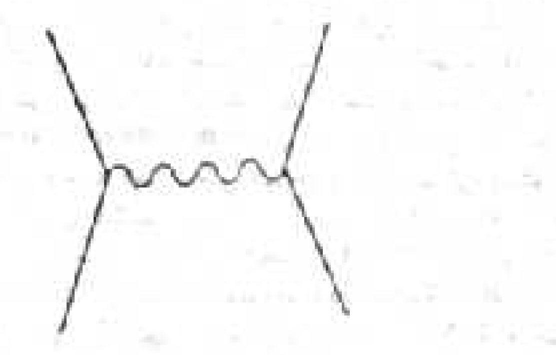
لإلقاء الضوء على الصعوبات التي تواجه وضع نظرية كمية للجاذبية ، سيساعدنا أن تراجع الحالة الأبسط ، حالة الكهرومغناطيسية ، أول النماذج لنظرية كمية مجالية . فالجسيم المشحون ، كالإلكترون مثلا ، وهو أصل المجال الكهرومغناطيسي ، يمكن النظر إليه كجسيم مشركز ، محاط بمجال غير مرئي من الطاقة الكهرومغناطيسية ، على شكل هالة منتشرة حوله في الفضاء . وحين يقترب إلكترون آخر من الأول ، فإنه يحس بهذا المجال ، ويتعرض لقوة طاردة . فكأن الإلكترون الأول قد أرسل رسالة تحذير للثاني : « أنا هنا ، فانصرف لشأنك » .

وتنتقل الرسالة خلال المجال على شكل اضطراب ، يمارس تأثيرا ميكانيكيا على كل من مرسل الرسالة (الفعل) ، والمرسل إليه (رد الفعل) . وبهذه الطريقة تتفاعل الجسيمات المشحونة كهربيا على بعضها البعض عبر الفضاء الخاوي . وطبعا ، في التصوير الكلاسيكي للعملية ، فإن الرسالة المتنقلة بين الفعل ورد الفعل تحمل عن طريق اضطرابات في المجال الكهرومغناطيسي ، ألا وهي الموجات الكهرومغناطيسية .

وتحتفظ النظرية الكمية بالفكرة الأساسية للمجال ، ولكن التفاصيل تتغير تغيرا جذريا . فالاضطرابات الكهرومغناطيسية ، كما رأينا ، لا تبث ولا تمتص إلا في وحدات أولية من الكم ، وهي الفوتونات ، وعلى ذلك فعلينا أن نتصور اضطرابات المجال الكهرومغناطيسية التي تنقل التفاعل عن أنها تبادل للفوتونات .

هذه الفوتونات هي في الواقع هي التي تنقل الرسالة بين الجسيمات المشحونة . وبدلا من تصور المجال الخاص بكل إلكترون على أنه يلتوي باستمرار على مسار الإلكترونات الأخرى ، فإننا نتصور أن الإلكترون الأول يرسل فوتونا ينتصه الثاني (الشكل ٣٧) . ويمكن تصوير ذلك الإرسال بدفعة ، يرتد لها الأول للخلف . وينحرف لها الثاني نتيجة التصادم بها . ويتم الاضطراب بصورة عشوائية . فالمشاهد سوف يرى النتيجة النهائية ، على صورة تشتت للإلكترونين أحدهما عن الآخر ، ويستنبط أن الشحنات الكهربية تسبب التنافر .

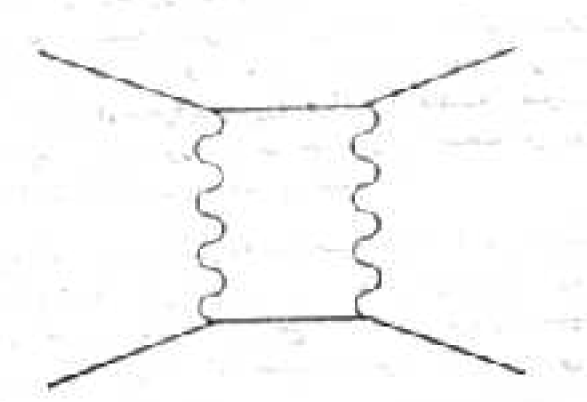
على الرغم من كون الصياغة الرياضية لهذه العملية التشبيهية تتضمن تغيرات مجالية ، فهي لا يمكن أن تستخلص من تجربة . ولا يمكن مشاهدة مرور الفوتون مباشرة . ويرجع ذلك لحالة الإبهام الأصلية التي تتميز بها النظم تحت الذرية ، كما تقتضيها النظرية الكمية ، والتي تتمثل في مبدأ عدم اليقين . فالإلكترونات لا يمكن أن تتخذ مسارات محددة في الفضاء ، حتى التسلسل الزمني الذي يتم به بث وامتصاص الفوتون غير دقيق . فالفوتونات الوسيطة تكتسب صورة شبحية ذات مرور عابر . ولتمييزها عن الأنواع ذاتية الوجود التي ألفناها أسميت بالتقديرية . ولقد عرضنا للجسيمات التقديرية عامة في الفصل الخامس ، حيث ناقشنا أثرها على طبيعة الفراغ ، وهي تلعب دورا في العالم الكمي .



(الشكل ٣٧) : تتفاعل الإلكترونات فيما بينها بتبادل الفوتونات التقديرية . فيعمل الفوتون (الخط المموج) كوسيط ينقل القوة بين الإلكترونين ، وتكون النتيجة هي تشتتهما عن بعضهما البعض . (يسمى هذا التصوير « مخططات فاينمان ») .

ورغم أننا وصفنا عملية تشتت الإلكترونات من مفهوم تبادل فوتون وحيد بين جسيمين مشحونين ، فهناك إمكانية تبادل فوتونين ، أو أكثر

(الشكل ٣٨) . وقد تبين أن تبادل فوتونين له أثر أضعف على العملية الفيزيائية بأكملها ، وتبادل ثلاثة أشد ضعفا وهكذا .



الشكل (٣٨) : هناك امكانية أن يتفاعل الكترونان بتبادل أكثر من فوتون ، مما يترتب عليه تصحيحات في حسابات التشتت للالكترونات .

ورغم أن تبادل الفوتونات على المستوى الفردى لا يمكن ملاحظته عمليا ، فان المعالجة الرياضية لهذه الأفكار تعطينا توقعات صريحة يمكن ملاحظتها ، كمتوسط قياس زاوية التشتت حينما يتصادم شعاعان من الالكترونات . وفي هذا الخصوص كان وصف القوة الكهرومغناطيسية على أساس تبادل الفوتونات نجاحا منقطع النظير . وقد أجريت الدراسة التفصيلية لهذا الموضوع في أواخر الأربعينيات ، وسميت الكهروديناميكية الكمية (QED) Quantum electrodynamics (١) . وتسمح لنا النظرية بتقدير تأثيرات دقيقة وخفية فعلا ، مثل التزحزح الخفيف في مستويات الطاقة للالكترونات الذى يتسبب عن وجود الفوتونات الوسيطة . وفي بعض هذه التأثيرات ، يجب الأخذ في الاعتبار تبادل أكثر من فوتون . وقد أجريت تجارب معقدة أكدت هذه التأثيرات بدقة مدهشة ، وقد وصلت الدقة الى واحد في عشرة البلايين . وتوافقت تماما مع النظرية . هذا النجاح المذهل خول لنظرية المجالات الكمية أن توصف بأنها من أنجح نظريات العلم .

شبكة من الوسطاء

ان ما نظنه فراغا ساكنا هو في الواقع خضم مزدحم بالوسطاء من الجسيمات التقديرية تتناقل بلا كلل . ودرجة نشاط هذا التزاحم تعتمد

على القوة محل الاعتبار . فالقوى القوية تكون مصدرا لنشاط محموم أما الواهنة فالنشاط المتولد عنها أقل . ولو لم تكن هذه الشبكة من التبادل بين الوسطاء ، لما أحس جسم من المادة بالآخر ، ولما تم أى تفاعل على الاطلاق . فلولاها لانطلق كل جسم مادى على رسله في الفضاء ، في مسار لا يعرف الحدود ، منعزلا في الكون بلا هدف أو غرض . لم يكن للأشياء المركبة أن توجد ، حيث لم تكن لتوجد قوى تربط بينها .

وقد مدت الفكرة وراء النظرية المجالية الكمية ، لتبادل الجسيمات الوسيطة ، بنجاح للوصف الكمى للقوتين النووية القوية والضعيفة ، فلكل منهما له مجاله المصاحب له ، والذى يمكن وصفه عن طريق جسيمات وسيطة مشابهة للفوتون . فالجسيمات الوسيطة للقوة النووية الضعيفة رغم توقعها نظريا من فترة طويلة لم يتم اكتشافها حتى ١٩٨٢ ، ورمز لها بالحرفين W، Z . ولكن الأمر مع القوة الشديدة لمعقد نسبيا . فجسيمات النواة من بروتون ونيوترون قد علم الآن أنها جسيمات مركبة كل منها من ثلاثة جسيمات تسمى كواركات quarks ، والكواركات مترابطة بقوة لا يتوصل اليها الا بثنائية جسيمات وسيطة على الأقل ، أطلق عليها اسم جلونات gluon . والقوة التى تترابط بها البروتونات والنيوترونات داخل النواة هى صورة مخففة من القوة التى تترابط بها الكواركات .

وكان الوصف المتماثل للقوى الثلاث عن طريق تبادل الجسيمات الوسيطة مشجعا على التفكير في النظر اليها نظرة توحيدية . وقد اقتنع العلماء الآن بأن القوتين الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة هما وجهان لقوة واحدة هى « القوة الكهروضعيفة electroweak force »(٢) . ومتابعة لهذا النجاح ، بدا توحيد القوة النووية الشديدة مع القوة «الكهروضعيفة» أو « القوة الموحدة العظمى grand unified force » أمرا قريب الاحتمال . ورغم أن أدلة دامغة على وجود هذه القوة لم تظهر بعد ، فان نظريات عديدة قد ظهرت لصهر هذه القوى الثلاث في بوتقة واحدة .

وبذلك تترك الجاذبية متعزلة . فلضمها لهذا الخضم ، والوصول الى توحيد تام للقوى في قوة فائقة ، يجب أن تصاغ الجاذبية صياغة كمية . وكما ذكرنا من قبل ، فالنظرية الكمية ظهرت حتى اكتشف أن الموجات الكهرومغناطيسية تنطلق على هيئة كمات محددة ، وهى الفوتونات ومن ثم فمن المتصور أن تكون موجات الجاذبية على نفس الشاكلة . وقد سميت كماتها « جرافيتونات gravitons » . ولم تزل هذه الجسيمات افتراضية تماما ، بل في الواقع ليس من المحتمل أن يرى أثرها في القريب العاجل بصورة مباشرة ، ويجب على ذلك الاعتماد على النظريات لتبيان

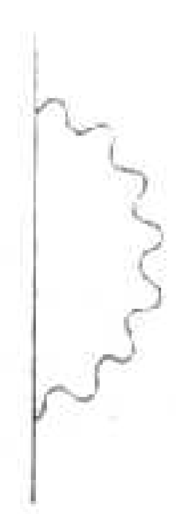
خصائصها . وكما ذكرنا في الفصل السادس ، فموجات الجاذبية تنتقل بسرعة الضوء ، ولذا فمن المنطقي أن نتصور الجرافيتون ، كالفوتون ، منطلقا بسرعة الضوء . ولكن الى هنا وينقطع التشابه . ويكمن الفرق الجوهري في ضعف تفاعل الجرافيتون بالمادة . فشعاع منها له نفس الطاقة قوة والطول الموجي لشعاع من الليزر (والذي هو صورة من الضوء ، أي شعاع من الفوتونات) يخترق الأرض بأكملها دون أن يعاني اضمحلالا يذكر . والفرق الثاني هو أنه رغم أن تفاعل الجرافيتون مع المادة على هذه الدرجة من الوهن ، الا أن تفاعلها مع بعضها البعض قوي جدا . أما الفوتونات ، وهي التي تتفاعل بقوة مع الأجسام المشحونة ، فتفاعلها المتبادل ضعيف . فالأشعة من الفوتونات تمر عبر بعضها البعض دون تغير ، بينما تتشتت الجرافيتونات بعيدا عن أمثالها . وكتمثيل تصويري ، يمكن تخيل الفوتونات عميا ، بالنسبة لغيرها من جنسها ، بينما الجرافيتونات مبصرة لغيرها ، بما فيها الجرافيتونات الأخرى .

هذه الخصيصة من التفاعل المتبادل هي مكمن الصعوبة البالغة في وضع صياغة كمية للجاذبية . فمثلا ، من الممكن أن يتبادل جرافيتونان ثالثا ، حتى وهما في تبادل مع جسيمات المادة . ومن الواضح ما يجره هذا التبادل المتعدد من تعقيد رهيب ، آخذا في الاعتبار مبدأ عدم اليقين الكمي .

فعدم اليقين الكمي يسمح لجسيم وسيط بالوجود اللحظي . وفي ميكانيكا الكم يأخذ عدم اليقين صياغة منضبطة . فطاقة الجسيمات اللحظية الوجود تتناسب مع زمن بقائها ، بمعنى أن الجسيمات الأعلى طاقة هي الأقصر عمرا وعلى الدوام فحاصل ضرب المقدارين أقل من الحد الذي وضعته النظرية .

وبسبب هذا اللايقين ، يمكننا تصور الالكترون كجسيم تحوم حوله سحابة من الفوتونات التقديرية مثل النحل حول خليتها ، وكل فوتون ما أن ينبث حتى يمتص مرة أخرى . والفوتونات الأقرب للالكترون تكون ذات طاقة أعلى ، حيث انها لن تبتعد كثيرا عن مقرها ، تخيل اذن الالكترون محصورا في هذا الحشد من طاقات الكم سريعة الزوال ، عالية بالقرب منه ، ومتضائلة كلما ابتعدنا عنه . هذا الخضم المتأجج من الفوتونات الفائرة النشاط هي بالضبط المجال الكهربي للالكترون ، مضافا بلغة الكم . فاذا ما دخل الكترون آخر المعمعة ، وامتص أحد فوتونات الالكترون المجاور ، حدث التبادل وتولدت القوة بينهما على الوجه الذي ذكرناه آنفا .

أما اذا لم يوجد الكترون أو جسيم مشحون آخر ، فإن الفوتونات لا تجد لها مآلا سوى موطنها الأصلي . ومن ثم يتفاعل الالكترون مع نفسه خلال سحابته الذاتية من الفوتونات (الشكل ٣٩) .



الشكل (٣٩) : يمكن للالكترون منفردا أن ينبث ويمتص فوتونات تقديرية . وهذه العملية تترتب عليها مشاركة في طاقة ، ومن ثم كتلة ، الالكترون . وتشير الحسابات المباشرة الى أن تصحيح الكتلة نتيجة لذلك لا نهائية .

ويمكن حساب نشاط الفوتونات المحيطة بالالكترون . والاجابة ، مهما كانت اغاظتها لنا ، لا نهائية . والسبب في هذه النتيجة الجافية للمنطق ظاهريا ، مفهومة في الواقع تماما . فليس هناك حد نظري لمدى ما ترحله الفوتونات ، على صغر رحلتها . وبالتالي لا حد لما يمكن أن تبلغه من طاقات .

الاحتكاك باللامتناهي

يبدو من الوهلة الأولى أن النظرية برمتها غير معقولة . ولكن الأمر ليس كذلك . فبسبب أننا لا يمكننا أن نفصل الالكترونات عما يصاحبها من فوتونات (لا يمكننا باطفاء الشحنات الكهربية) ، فانه ما من طريقة لعزل هذه الطاقة اللانهائية ثم رؤيتها . فما نراه حقا في المختبر

وما « نراه » الجسيمات الأخرى في الكون . هو الطاقة المشتركة بين الالكترون ولصيقاته من الفوتونات . وهذه أساسا محدودة . أما الطاقة اللانهائية الذاتية للالكترون ، رغم أنها خصيصة مزعجة في النظرية ، فيمكن ببراعة التخلص منها بقسمة الطرفين على مقدار لا نهائي . ورغم أننا قد حذرنا خلال المرحلة الدراسية من القسمة على اللانهائية ، إلا أنها اذا أجريت بحذر وتمكن رياضي فإنها يمكن أن تؤدى لنتائج منطقية . ولاعطاء هذه الخطوة المشكوك فيها شكلا أكثر احتراما ، فقد أعطيت اسما طيب الجرس : « اعادة الاتساق . أو اعادة الاستظام renormalization

وعودة الى موضوع الجاذبية الكمية ، فالمسألة متشابهة ، ولكنها أسوأ . فاللانهائية تظهر مع كل عملية مجالية كمية تتضمن حلقة مقفلة . ولأن الجرافيتونات يمكنها أن تتفاعل مع بعضها البعض ، فإن الحلقات المقفلة ذات صفة أكثر شمولية ، حلقات متداخلة في حلقات مثل عجلات داخل عجلات . وعلينا أن نفترض أن كل جسيم محاط بعدد لانهائي من الحلقات المعقدة . وكل مستوى من الحلقات يضيف لانهائية جديدة للحسابات ، بحيث انه كلما توغلنا في الحساب تراكمت اللانهايات بلا نهاية .

في الكهروديناميكية الكمية ، كانت الحيلة الأساسية هي قسمة طرفي المعادلة على ما لا نهاية . ونجحت الخطة لكونها يجب أن تجرى مرة واحدة . أما في الجاذبية الكمية ، على النقيض ، فيجب أن تجرى العملية ما لا نهاية من المرات . والمغزى المحزن من ذلك أن كل عملية حساب تقريبا تجرى باستخدام نظرية الجاذبية الكمية بهذه الطريقة تؤدى الى عدد لا نهائي من الاجابات . والنظرية بذلك ليست لها قوة تنبئية ، حيث لا يتمكن المرء من الحصول على قيمة ذات معنى محدد من بين هذه النتائج .

ومشكلة اللانهايات معروفة منذ عقود من الزمان ، ومع ذلك فقد بدت اشارات منذ وقت قصير الى امكانية مواجهتها . وكانت الاشارة الأولى مستقاة ليس من معالجة الجاذبية ، بل من معالجة القوة الواهنة . فنظرية هذه القوة ظلت لسنوات مبتلاة باللانهايات ، وتوقفت قيمتها عند حد أكثر التفاعلات بساطة ، حتى اكتشف ستيفان فاينبرج Steven Weinberg وعبد السلام ، كل على انفراد ، طريقة لعلاج المشكلة ، وكان الأسلوب المتبع يعتمد على مفهوم « التناظر symmetry »

وقد لعب التناظر دورا هاما منذ وقت طويل . فكثيرا ما يكون مرشدا في الطرق الوعرة . فلسبب لم يفهم بعد (ولكن قد تكون له علاقة بالمصادفات الكونية ، والتي جعلت كوننا مهيأ لاستضافة الحياة) ، نوافق الطبيعة المبادئ التي تسمح بحرية الاستخدام بصور متعددة من التناظر . فعلى سبيل المثال ، فانه في حالة أكثر العمليات الأساسية ، لن تتغير القوانين الحاكمة للتفاعلات بين الجسيمات في « كون معكوس » يتبدل فيه اليمين لليسار أو العكس (أي متماثل للشيء وصورته في المرآة) . كما أن هذه القوانين لن تتغير اذا ما تبدل الماضي للمستقبل والعكس بالعكس . وهناك استثناءات لهذه القواعد (أحد الاستثناءات يسمح بتكون بزيادة للمادة على المادة المضادة أثناء الانفجار العظيم بنسبة جسيم لكل بليون جسيم) . ولكن بالنسبة للأعم الغالب في الحالات قوانين الفيزياء متناظرة بالنسبة للانعكاس المكاني والزماني .

وأغلب صور التناظر المهمة بالنسبة للفيزيائيين لها طبيعة أكثر تجريدية ، ليست متعلقة فقط بالمكان والزمان . وليس صعبا تخيل صور من التناظر التجريدي . فأمامنا مثلا التناظر بين الرجل والمرأة ، وبين الشحنات الموجبة والسالبة ، والقطبين الشمالي والجنوبي للمغناطيس . فهناك تناظرات تجريدية تقدم روابط بسيطة بين كينونات تبدو مختلفة الطبيعة . وتنطبق هذه التناظرات التجريدية على جسيمات العالم دون الذرى . أمكن التعرف على أنماط لها لم تكن واضحة للوهلة الأولى .

والمثال المبسط لذلك هو البروتون والنيوترون ، البنية الأساسية لنواة الذرة . فهما من النظرة السطحية ، جسيمان متمايزان . البروتون جسيم مشحون ، والنيوترون متعادل ، وأثقل قليلا . على أنه في العديد من العمليات النووية يتصرف الجسيمان تصرفا متماثلا ، بحيث يمكن النظر للشحنة التي تميز أحدهما عن الآخر على أنها بطاقة هوية لا أكثر ولا أقل ، وليست خصيصة فيزيقية تميزه عن الآخر . ومن هذا المنطلق يمكن النظر لكلا الجسيمين كحالتين لجسيم أساسي . كما أن الرجل والمرأة حالتان لجنس واحد . وبالسير قدما في هذا الاتجاه جمعت الأنواع المختلفة من الجسيمات دون الذرية في أسر ، كل أسرة تمثل جسيما أساسيا ذا عدة صور .

وباستغلال بعض من التناظرات التجريدية في هيكل القوة الضعيفة أمكن لفاينبرج وعبد السلام توحيدها مع القوة الكهرومغناطيسية (والتي لها هيكل تناظرى مقارب) وحل مشكلة اللانهايات فيها تماما . وقد أظهر

هذا الفتح المبين ان مفتاح حل مشاكل اللانهايات فى نظرية المجالات الكمية يكمن فى وضع أكبر كمية ممكنة من التناظرات . ثم البحث فى توحيد المجالات الكمية التى تمتثل لذلك .

وفى محاولة رائدة لحل مشاكل النهايات فى الجاذبية الكمية ، انهمك الفيزيائيون فى السبعينيات فى وضع برنامج لاستغلال أقوى تناظر تم اكتشافه فى الطبيعة ، يعرف (ولا غرابة فى ذلك) بالتناظر الفائق supersymmetry . هذا التناظر يكمن فى فكرة « اللف Spin » . لجميع الجسيمات الأساسية فى الطبيعة لها خاصية كم معينة فى الدوران، تسمى اللف ، وتأتى دائما على صورة مضاعفات لقيمة أساسية .

ولأسباب تاريخية اتخذت هذه القيمة الأساسية مساوية للنصف : فالالكترون والنيوترينو مثلا لهما قيمة لف تساوى النصف . والفوتون له قيمة لف تساوى الواحد . والجرافيتون له وحدتان . وليس يعرف فى الطبيعة جسيم له لف يزيد عن اثنين . وتذهب النظرية الى استحالة ذلك .

وتتحدد الخواص الأساسية للجسيمات الوسيطة بكتلتها ومعامل اللف لها معا . وهو ما يميز الفروق بين القوى الأساسية الأربع فى الطبيعة . فكتلة الجسيم الوسيط تحدد مدى القوة الخاصة به . كلما كبرت الكتلة صغر المدى . واذا ما كان معامل اللف عددا زوجيا (أو صفرا) ، فان القوة المصاحبة طبقا للنظرية تكون قوى جذب ، واذا كان المعامل عددا فرديا ، فالقوة تنافرية .

وتستخدم الطبيعة جسيمات وسيطة ذات لف واحد أو اثنين ، وكتلة صفر . وبدون كتلة ، يكون مدى الجسيم الكون باكمله ، فالفوتونات جسيمات ذات كتلة صفرية ، ولف واحد . وهى بالفعل تمتد عبر الكون ، وهى مثل الشحنات المتماثلة ، تتنافر . وللجرافيتون كتلة صفرية أيضا ، ولف اثنين ، ومداه يشمل الكون ، كما أنه جاذب دائما ، كما توقعت النظرية . ويبدو أنه لا توجد قوة تستخدم وسيطا ذا كتلة صفرية ولف صفر ، ولكن النظرية يمكنها التنبؤ بطبيعتها لو وجدت ، فهى ستكون قوة جذب كالجاذبية . ولكنها ابسط منها ، وليس بالضرورة أن تكون عامة بالنسبة لكافة الجسيمات فى الطبيعة .

وتتصرف الجلوونات بصورة أكثر تعقيدا ، ورغم أن الأنواع الثمانية منها لها جميعا لف واحد ، مثل الفوتون ، فهى بامكانها التفاعل مع

بعضها البعض ، وهو ما يجعلها حبيسة ويحدد من مداها . أما القوة الضعيفة فتحديد مداها يرجع للكتلة . فجسيمات W و Z أثقل من البروتون ثمانين مرة . ومداها أقل من ١٠ ^-١٥^ سنتيمتر .

وعلى الرغم من أن هذا الوصف قد يبدو معقدا حين يعبر عنه بالكلمات ، فان الطبيعة فى الواقع تواجه تقييدا عجيبا فى اختيارها للقوى الممكنة . وكلما أظهرت المعادلات خيارا ما ، فان الطبيعة تسرع للخيار الأكثر بساطة . بمعنى أنه الخيار الذى يجسم التناظر .

وقبل ظهور التناظر الفائق ، عوملت الجسيمات المنتمية الى قيم مختلفة من اللف على أنها تنتمى لأسر مختلفة تماما . وعلى الأخص ، فكل الجسيمات التى معامل لفها عدد صحيح اتضح أنها حاملة للقوى ، أى جسيمات لمجالات كم ، كالفوتونات والجرافيتونات . أما الجسيمات ذات معامل اللف الكسرى كالالكترون ، فهى ما كنا ننظر اليها عادة على أنها جسيمات مادية « حقيقية » . وللتمييز بين الطائفتين ، سميت الطائفة الأولى « بوزونات bosons » ، والثانية « فرميونات fermions » . وليس هناك من تباين أوضح من ذلك ، ولا يوجد وجه للتناظر معروف بين خواص البوزونات والفرميونات . وجاء التناظر الفائق ليغير من كل ذلك بتقديم وسيلة رياضية للربط بين جسيمات ذات لف مختلف فى صف واحد . ومعنى ذلك انه يمكن البحث عن قوانين للفيزياء تتجاوز عائق اللف . وتوحد بين الجسيمات ذات اللف المختلف فى أسرة علوية Superfamily بخواص متقاربة ، وعلى وجه الخصوص ، فهو يفترض تناظرا خفيا بين الجسيمات حاملة القوى والجسيمات المادية .

ويتطلب التناظر الفائق أن يكون لكل نوع من الجسيمات فى عائلة مجال الكم (وليس كل جسيم) نظير ذو لف معاكس . وحيث انه ما من جسيم « وسيط » معروف يترافق مع جسيم مادى معروف ، فان ذلك يتطلب وجود بعض جسيمات الكم لم تكتشف بعد . ولم يتوقع وجودها أحد من قبل . ومن الممكن اعطاء تشبيه مقارب بين وجود عائلتين من جسيمات المادة ، المادة ونقيضها . وكان اكتشاف النقيض للالكترون (البوزيترون) مدعاة لافتراض وجود نقيض للنيوترون ونقيض للبروتون، للحفاظ على التناظر . وفى التناظر الفائق ، فكل نوع من جسيمات المادة أو جسيمات المجال يجب أن يكون له نقيض بلف مختلف ، لم يكتشف بعد . وكان اكتشاف جسيم واحد من شأنه أن يوحى بوجود الأسرة (أو الأسر) باكملها ، مع فائدة اضافية تتمثل فى أن الحسابات الرياضية

لخواص الجسيمات المفترضة تبين أن بعضا منها هي بالضبط ما يتطلب لوجود المادة السوداء في الكون . ولكن الى الآن ليس من دليل قاطع على وجود نظير فائق لأي جسيم معروف .

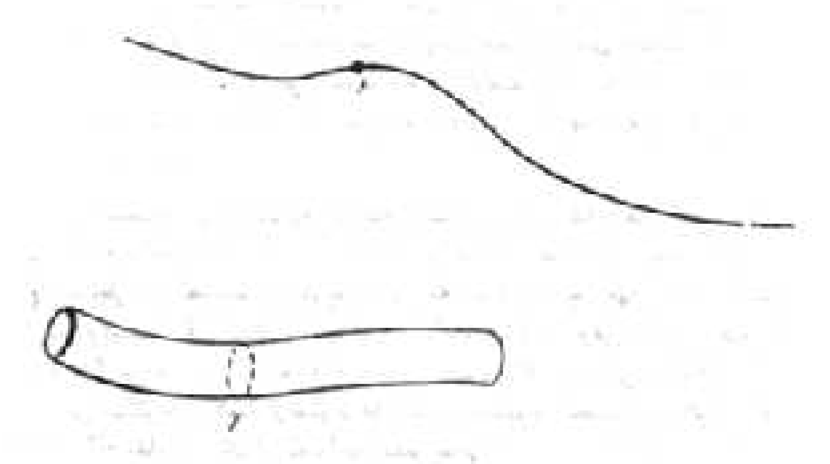
ولكن كيف سيحل ذلك مشكلة النهايات في جاذبية الكم ؟ ان الجرافيتون ، والذي افترض سابقا أنه الوحيد الذي يحمل قوة الجاذبية، يتطلب له من وجهة نظر التناظر الفائق وجود جسيمات حاملة للجاذبية تسمى « جرافيتينو gravitino » لكل جسيم لف مقداره واحد ونصف . ووجود الجرافيتينو سيكون له أثر بالغ على مشكلة النهايات . وبعبارة مضغوطة ، فان حلقات الجرافيتينو تكون في صورة سالبة ، منتجة لا نهايات سالبة ، تعمل بسبب علاقة التناظر على الغاء النهايات الموجبة للجرافيتون . وحيث اننا ليس لنا بالمرة فصم عرى الجسيمين ، فان تأثيرهما يجب أن يؤخذ ككل لا يتجزأ ، وهو ما يسمى عادة « الجاذبية الفائقة supergravity » .

أبعاد أخرى للفضاء

لفترة في أواخر السبعينيات وأوائل الثمانينيات ، بدا أن التناظر الفائق يمهد الطريق لنظرية متناسقة عن الجاذبية في مضمار ميكانيكا الكم ، ولكن اكتشف بعد ذلك أنه يفشل مع زيادة عدد اللانهايات . ولم تدم الفترة طويلا ، حيث أن أسلوبا جديدا بالمرة لحل المشكلة كان قيد البحث بالفعل : امكانية توحيد قوة الجاذبية مع قوى الطبيعة الأخرى في نظرية متناسقة رياضيا اذا ما اعترف بوجود أبعاد اضافية للكون .

وقصة وجود أبعاد أكثر من ثلاثة للكون لها تاريخ طويل . فبعد طرح النظرية النسبية العامة بوقت طويل ، حين لم يكن معروفا سوى قوتين أساسيتين في الطبيعة ، الجاذبية والكهرومغناطيسية ، قدم رياضي ألماني يدعى تيودور كالوزا Theodor Kaluza ، طريقة لوصف الكهرومغناطيسية بطريقة هندسية ، وبين أن المجال الكهرومغناطيسي يمكن النظر اليه كالتواء في الفضاء ، ولكن ليس الفضاء العادي ثلاثي الأبعاد الذي تدركه أحاسيسنا ، بل فضاء ذو بعد رابع ، لسبب ما لا ندركه ، ولو صح ذلك ، فانه بامكاننا تصور الموجات الكهرومغناطيسية والضوئية كاهتزازات في البعد الرابع للفضاء . ولو اننا أعددنا صياغة نظرية الجاذبية لأينشتين ذات الأبعاد الأربعة لتضم هذا البعد الرابع للفضاء ، لتكون المجموع خمسا ، فانها ستضم كلا من الجاذبية ومعادلات ماكسويل للكهرومغناطيسية . وعلى ذلك ، فان الجاذبية والكهرومغناطيسية ، منظورا اليهما من البعد الرابع ، سيكونان شبه مجاذبية ذات خمسة أبعاد .

ولنعف فيزيقي سويدي نظرية كالوزا ، هو أوسكار كلاين Oskar Klein ، وبين لماذا لا يمكننا ادراك البعد الرابع للفضاء . فقد ذهب الى أن البعد الرابع للفضاء ، مطوى ، بصورة ما فلا نشعر به . فبالضبط كما تبدو لنا أنبوبة عن البعد كخيط وحيد البعد ، رغم أنها في الحقيقة اسطوانية الشكل ، كذلك فان الفضاء رباعي الأبعاد يمكن تصوره كأنبوبة مطوى hypertube (الشكل ٤٠) . فما تعارفنا على اعتبارها نقاطا لا حجم لها ولا هيكل في الفضاء ثلاثي الأبعاد ، يمكن أن نتصورها كدوائر دقيقة في الفضاء رباعي الأبعاد . بل وقد قامت النظرية بحساب محيط تلك الدائرة ، مبنيا على القيمة المعروفة للوحدة الأساسية للشحنة الكهربية ، فكان أقل من بليون مرة قطر نواة الذرة ، ومن ثم فلا عجب في عدم احساسنا بالبعد الرابع .



الشكل (٤٠) : ما يبدو على البعد أنه خط ذو بعد واحد يتبين بالتمحيص أنه أنبوب ذو بعدين ، وكل « نقطة » على الخط هي في الواقع دائرة صغيرة تحيط بالأنبوب ، وبنفس الطريقة ، ما نحسبه نقطة في الفضاء قد يتضح أنه دائرة صغيرة « تحيط » بالبعد الرابع .

وعانت نظرية كالوزا — كلاين شيئا من الخمول العلمي لعدة عقود . ومع اكتشاف القوتين الضعيفة والشديدة ، انحسر الضوء عن نظرية توحد قوتين من قوى الطبيعة متجاهلة الأخريين . ثم عادت فكرة وجود أبعاد اضافية للكون للظهور في أوائل الثمانينات . وفي الصورة الحديثة من النظرية ، أعطيت كل قوى الطبيعة منشأ هندسيا . والسبب في أن العلماء استغرقوا كل هذا الوقت لاتخاذ هذه الخطوة المنطقية من تعميم نظرية كالوزا — كلاين هو أن القوة الكهرومغناطيسية لبساطتها لم

تحتاج الا لبعد واحد إضافى لاحتوائها فى ذلك التصور ، بينما احتاجت كل من القوتين الأخريين لعدد من الأبعاد أكثر ، بسبب تعقدهما . وللاحتواء كافة خصائص القوى الأربع . نحتاج لعشرة أبعاد فضائية بالإضافة للبعد الزمنى .

وبسبب هذا التزايد فى الأبعاد الكونية فى الصعب مسألة تصورها . فمن المهم أن نتصور لها شكلا من الظل . لتبرير عدم ادراكنا لها . ولكن الطرق متعددة لتصور ذلك . فبعدان فضائيان مثلا يمكن تجسيمها فى كرة أو حلقة أسطوانية . ومع المزيد من الأبعاد تزداد الامكانيات ، وتزداد صعوبة التصور . وفى أحد النماذج الواعدة بأحد عشر بعدا أضيف للزمكان ذى الأبعاد الأربعة المعتادة . سبعة أبعاد متجمعة فيما يقابل كرة سباعية الأبعاد . وكان هذا هو أكثر التشكيلات بساطة وتناظرا . وكانت الكرة سباعية الأبعاد محببة لدى العلماء لبساطة خواصها الهندسية ، والتى كانت قد اكتشفت بواسطة علماء رياضيات منذ عقود ، لسنوات قبل أن يطرح ملاءمة كينونة كهذه لعلم الفيزياء على بساط البحث .

واتضح أن الجاذبية الفائقة تتناسب مع هذا الفكر تماما ، فأبسط صياغة رياضية لها تضمنت بالضبط أحد عشر بعدا . بمعنى أن التناظرات العديدة فى الأبعاد الأربعة اختصرت جميعها لتناظر طبيعى وحيد وبسيط فى رياضيات الأبعاد الأحد عشر . وعلى ذلك ، فلو أن المرء بدأ من النسبية العامة ووصفها للقوى كانحناء فى الزمكان ، أو بدأ من النظرية الكمية وتصويرها للقوى بمفهوم الجسيمات الوسيطة ، فيبدو أنه مقاد الى تناظر ذى أحد عشر بعدا .

ومع كل ما فى هذه الأفكار من وجاهة والراء ، فقد ظل شبح اللاتناسق الرياضى مخيما . وتمثلت احدى الصعوبات فى قضية اللف . فلكى تتضمن النظرية جسيمات ذات لف ، كان المفروض أن يكون عدد أبعاد الفضاء مع الزمن زوجيا ، لا فرديا كأحد عشر . وبينما العلماء يكدحون فى مواجهة هذه المعضلة ، برزت للضوء فكرة واعدة جديدة ، تتضمن المفهوم الشائع للتناظر الفائق ، والأبعاد المتعددة ، وشيئا آخر أيضا .

هل الانقاذ فى الأوتار ؟

ان مكمن الصعوبة فى أية محاولة لتوحيد قوى الطبيعة هو شبح اللانهايات الذى يهدد بتدمير القوة التنبئية لأية نظرية . ولنتذكر أن

هذه اللانهايات تنشأ من كون الجسيمات الوسيطة تتكدس كلما زادت طاقاتها أقرب وأقرب حول الجسيم المادى . وتنشأ اللانهاية لأنه يوجد حد لمدى اقتراب الجسيم الوسيط من الجسيم المادى المترابط معه . ذلك لأن الجسيم المادى ينظر اليه تقليديا — كنقطة هندسية لا أبعاد لها . وتنتج اللانهاية من حاصل قسمة الطاقة على الحجم الصفرى لهذه النقطة الهندسية . فلو أنه نظر للجسيم المادى كشىء ذى بعد معين ، فان المشكلة ستختفى فى الحال .

وترجع محاولات معاملة الالكترون ككرة لا نقطة هندسية لقرن مضى تقريبا . ولم تتقبل هذه الأفكار لعدم اتساقها مع النسبية . أما وجه الجدة فى الأفكار الحديثة فهى أن الجسيمات ممتدة فى الفضاء فى بعد واحد فقط . فهى ليست نقاطا هندسية ، ولا تكورات من المادة ، بل أوتارا ذات قطر متناه فى الصغر .

وينظر لهذه الأوتار على أنها اللبنات الأساسية للكون . حالة محل فكرة الجسيمات التقليدية ، ولكنها تتشابه مع الجسيمات فى مقدرتها على التحرك . ولكنها تحوز درجة من الحرية أوسع ، اذ بامكانها بجانب الحركة ، أن تتلوى .

فى أوائل السبعينيات ، كان نجاح لنمذجة سلوك المواد النووية باستخدام مفهوم الأوتار محدودا . وقد بدا فى كثير من الأحوال أن الجسيمات النووية تسلك مثل الأوتار المتموجة . ولكن كانت هناك صعوبات أيضا . فقد بينت الحسابات أن تلك الأوتار تتحرك أسرع من سرعة الضوء ، وهو ما تحرمه النسبية . ولقد بدت النظرية محتوما عليها الفشل . أما ما حفظ على النظرية بقاءها فكان احتواءها على التناظر الفائق . فـ « الأوتار الفائقة » كانت حسن السلوك بالفعل .

ثم برزت صعوبة أخرى . فالصياغة النظرية لهذه الأوتار حسنة السلوك بدا أنها تحتوى على جسيم قبلى له محل فى الأسرة المعروفة من الجسيمات ، ذى لف قيمته اثنان ، وكتلة صفرية ، ومن ثم فله سرعة الضوء . ولم يكن مثل هذا الجسيم معروفا فى العمليات النووية . وبالإضافة لوصف الجسيمات والقوى المألوفة ، كانت نظرية الأوتار تحاول أن تصف شيئا غير متوقع بالمرة . لم يقصد المنظرون تضمينه فيها . ولكن الجسيم منعدم الكتلة ذا معامل اللف اثنين ، رغم أنه لم يكن متوقعا فى هذا السياق ، معروف جيدا تحت اسم جرافيتون ،

وسرعان ما تطورت نظرية الأوتار الى نظرية جاذبية . وحين مزج ذلك بأفكار التناظر الفائق ، اقترحت كينونة جديدة ، هي الأوتار الفائقة .

واصبح واضحا على الفور أن الأوتار الفائقة لها خواص متميزة تعد بمحو كل اللانهايات المزعجة التي صاحبت نظريات الجسيمات التقليدية . فعند مقادير الطاقة الدنيا تتجول الأوتار كما لو كانت جسيمات عادية ، وتتقمص كافة الخصائص التي وصفتها النظريات التقليدية لعقود خلت . ومع ارتفاع قيم الطاقة بما يسمح بظهور شأن القوى الجاذبية ، تبدأ الأوتار في التمدد ، وبالتالي تغير من السلوك عند الطاقات العالية بصورة جذرية وبطريقة تمحو أي تواجد اللانهايات .

وفي احدى صياغات النظرية تتحرك الأوتار (زمكان) من عشرة أبعاد ، وفي صياغة أخرى ، تطلب الأمر ستة وعشرين بعدا . وتضمنت نظرية الأبعاد العشرة التفافا بلا مشاكل . وكما في نظرية كالوزا ــ كلاين ، كبست الأبعاد الاضافية الى حجم غاية في الضآلة . ورغم أن هذه الأبعاد الاضافية غير قابلة للرؤية مباشرة ، الا أنه من المغري أن يتفكر المرء ان كان من الممكن الاحساس بآثارها بصورة أو بأخرى . وكما رأينا ، يربط علماء فيزياء الكم بين المسافة والطاقة . فلكي تسبر غور المسافة لجزء من بليون بليون جزء من قطر نواة الذرة ، تحتاج الى طاقة أعلى من طاقة النواة بنفس النسبة . وليس من مكان يتصور أن يتواجد في طاقة بهذا المستوى الا في الانفجار العظيم . والذي ــ لو صحت هذه الأفكار ــ تكون العمليات أثناءه متضمنة أبعادا متعددة بصفة أساسية . ومن الاحتمالات المثيرة أن تكون كافة أبعاد الفضاء في البداية على قدم المساواة ، وأن قاطني الكون البدائي ، من جسيمات أولية ، قد عايشت تلك الأبعاد المتعددة . وحدث التطور بعد ذلك . ثلاثة من تلك الأبعاد انتفخت سريعا خلال التضخم لتكون الكون الحالي ، بينما توارت الأبعاد الأخرى عن الأنظار ، تعبر عن وجودها ليس كفضاء ، ولكن كخواص كامنة في الجسيمات والقوى . وتظل الجاذبية اذن القوة الوحيدة المصاحبة لهندسة الفضاء والزمن كما نتصور الآن تماما ، ولكن كل القوى والجسيمات ، بصريح العبارة ، ذات أصل هندسي .

ولا تتحرك الأوتار على استقلال ، بل يمكنها أن تتفاعل فيما بينها ، متسببة في أن تتواصل أو تنقسم . وفي الواقع ، فان سلوك مجموعة من الأوتار أمر بالغ التعقيد ، وبالكاد بدأ ــ بصورة لم تزل مبهمة ــ فهم القواعد الحاكمة لأنشطتها . ويمكن أن تكون الأوتار مفتوحة ، مهتزة

الطرفين ، أو حلقية ، وهي الواعدة بدرجة أكبر . والتي تحوي أغلب التناظرات التي ظهرت (أو دخلت) في نظريات التوحيد العظمى (المسماة رياضيا بالاسم الكودي E_8) ، مضافا اليها الجاذبية الفائقة أيضا .

وفي الواقع ، فان التناظر الكامل في هذه الصورة من النظرية يحتوي في الحقيقة على E_8 مرتين ، في مجموعة يطلق عليها E_8XE_8 وقد اتجه بعض المنظرين الى افتراض أن هذا الازدواج يعني وجود كون مرافق لكوننا ، عالم ظل مسكون بمادة شبيهة بمادتنا ، ولكنها لا تتفاعل مع مادة كوننا الا من خلال الجاذبية .

واما عن الشعور بذلك العالم الظل الذي يتغلغل خلال عالمنا ، فانه من الممكن أن تخترق شخصا مخلوقا من مادته دون أن تحس بذلك . ذلك لأن الجاذبية المرتبطة بالأجساد البشرية ضعيفة للغاية . أما لو حدث وعبر كوكب مجموعتنا الشمسية ، فهو قادر على دفع الكرة الأرضية بعيدا عن مدارها . ولو تم شيء من ذلك لسيكون أمرا عجيبا . حيث ان المسبب لذلك لن يكون مرئيا ، كما لو كانت الأرض قد وقعت في قبضة وهمية خفية دفعتها دفعا .

وفيما وراء المجموعة الشمسية يمكن تصور مجرات ظلية ، بل وثقوب سوداء ظلية . ولما كانت الثقوب السوداء كينونات جاذبية صرفة ، فانها لن تكون متميزة عن ثقوب كوننا السوداء . ومع ذلك ، فلو كان هناك عالم ظل يحوم حولنا ، فانه سوف يساعد على الكشف عن وجود المادة السوداء . ولكن هذه الافتراضات المتطرفة هي على هامش نظرية الأوتار الفائقة . فاهمية النظرية لدى الفيزيائيين ليست في تفسير المادة السوداء ، بقدر ما هي في تفسير توحيد القوى

حين تتوحد القوى

ما زال الوقت مبكرا لمعرفة ما اذا كانت نظرية الأوتار الفائقة (٣) بمقدورها أن تعيد صياغة الفيزياء كما نعرفها ، وفي نفس الوقت تتلاشى اللانهايات التي تصيب نظريات التوحيد الأخرى . ولكن الظواهر الى الآن مبشرة ، حتى لو كان من المحتمل أن بعضا من تنبؤاتها الغريبة حرية بأن تسقط خلال اقامة النظرية على قواعد أرسخ . ومهما كانت صورة حل المسألة ، فانه حتى النظريات القائمة تفسح مجالا لأمثلة أخرى من غرائب الكون الكمي ، بما في ذلك تصرفات الجسيمات البسيطة في الشبكة الكونية .

وتتضمن نظريات التوحيد الكبرى اندماج القوى المختلفة في هوية واحدة ، كما انها تتضمن توحيد الصور المختلفة من المادة في هوية واحدة . والجسيمات المعتادة تقع في مجموعتين ، الالكترونات والكواركات . والتمييز الجوهري بينهما هو ان الكواركات فقط هي التي تستجيب للقوة النووية الشديدة المحمولة بواسطة الجلونات ، بينما تعمل القوة الكهروضعيفة على النوعين . ولكن القوة الموحدة العظمى تفشل ، بحكم طبيعتها ، في التمييز بين الكواركات والليبتونات ، حيث ان ذلك يتطلب خواص من كلتا القوتين .

وتفترض الحسابات أن القوة الموحدة العظمى محمولة بواسطة جسيم وسيط أعطى اسما كوديا X ، يملك كتلة هائلة ، تعطيا جزء من مليون جزء من الجرام ، وهي هائلة لانها اثقل من البروتون بمليون بليون (10^{15}) مرة . وبفضل عدم اليقين الكم ، فان هذا الجسيم لا يظل الا لفترة جد وجيزة (تذكر أن فترة البقاء للجسيم التقديري تقل مع زيادة كتلته) ، ومن ثم فله مدى جد محدود . وعلى ذلك ، فهذا الجسيم الشبحي يمكنه الظهور الفجائي ، حتى بداخل البروتون ، ولكن لا يظل الا لفترة 10^{-35} ثانية تقريبا ، وبهذا لا ينتقل الا لمسافة 10^{-25} من السنتيمتر ، والى جزء من تريليون جزء من قطر البروتون ، قبل أن يعيد الطاقة التي اقترضها من الفراغ التقديري ، ولما كان البروتون يحتوي على ثلاثة كواركات ، فانه من غير المتصور أن يتلاقى أي منها مع الآخر في تلك الفترة الوجيزة . الا ان الاحتمال الغاية في الضآلة ، بأن يقترب كواركان لتلك المسافة الضئيلة ، ليس مستبعدا ، حتى وان كان احتمالا يماثل صدام نحلتين في حظيرة طائرات .

ولتقريب هذا المثال من الدقة ، نقول انها فرصة تصادم نحلتين من ثلاث نحلات في حظيرة طولها عشرة ملايين كيلو متر . وحين يتحقق ذلك اللقاء البعيد الاحتمال ، فانه يمكن تبادل جسيم X بينهما ، وهي عملية ذات أثر له خطر عظيم ، فالكواركان المتفاعلان معا سيتحولان الى كواركين مضادين ، بالاضافة الى بوزيترون .

وحين يتم ذلك التحول داخل البروتون ، فان البوزيترون يلفظ ، بينما يتحول الكوارك الثالث ، مع الكواركين المضادين ، الى جسيم يعرف بـ « بيون pion » وبعد جزء من ثانية ، ينحل البيون ذاته الى البروتونات بالطريقة المذكورة ، فان لقاء الالكترونات بالبوزيترونات معنى ذلك هو ان المادة بأسرها غير مستقرة ، ولن تدوم للأبد . فنظريات

التوحيد العظمى كما تقدم آلية ظهور المادة ، تقدم أيضا بذور فنائها ، وكل بروتون في الكون منذ ولد متزاوجا مع الكترون ، وحين تنحل البروتونات بالطريقة المذكورة ، فان لقاء الالكترونات بالبوزيترونات يصبح امرا حتميا ، فيتفانيان ، وهو ما ينذر بفناء تام للمادة (٤) . ولكن لا تجزع دون داع ، فالنظرية لم تتأكد نهائيا بعد ، وحتى لو تم ذلك ، فاحتمال انحلال البروتون يتطلب فترة لا تقل عن 10^{32} سنة .

كيف يمكن مشاهدة عملية بهذا القدر من ندرة الاحتمال عمليا ؟ الطريقة الوحيدة ، كما ذكرنا في الفصل السابع عن انحلال ألفا ، هو مراقبة عدد كبير جدا من البروتونات لفترة طويلة . فمراقبة 10^{32} بروتونا يؤدي لاحتمال انحلال واحد منها خلال سنة . وقد أعلن فريق بحث هندي في أوائل الثمانينيات ، أثناء مراقبة مائة طن من الحديد بكاشفات غاية في الدقة عن اكتشاف حدث من هذا القبيل ، ولكن غالب الظن انهم كانوا مخطئين .

وعلى الرغم من عدم ملاحظة انحلال البروتون بصورة مباشرة ، فان اغلب الفيزيائيين يعتقدون ان قوى الطبيعة لها بالفعل اصل مشترك على مستوى ملائم من العمق . وقد تركزت كل المجهودات في العشرين عاما الماضية في اتجاه التوحيد ، وايجاد روابط ما بين الخصائص المختلفة للحقيقة . فهناك احساس متعاظم بأن الكون الفيزيائي يحتوي على رابطة لا تضم فحسب الجسيمات المتشابهة في اماكن مختلفة ، ولكن أيضا الجسيمات والقوى المختلفة . وفي النهاية ، يمكن للمرء أن يتوقع أن الجسيمات المختلفة ، ومجالات القوى ، والفضاء ، والزمن ، وأصل الكون ، هي عناصر من كل ، متضمن في نظام رياضي . ويرى بعض المتفائلين ، من أمثال ستيفن هوكنج ، أن الهدف على مرمى البصر . ولو كان الأمر كذلك ، فان تحويل الساعة النيوتونية المنضبطة الى شبكة كونية لم يتطلب الا مجرد ثلاثة قرون . ولكن اذا بدت المهمة يسيرة ، فانه بامكاننا اخذ فكرة عن أثر الالتواء النهائي للزمن والفضاء من أحد أعاجيب الكون ، الثقوب السوداء .

هوامش الفصل الثامن

(١) حاز كل من فاينمان وتوموناجا وشفينجر على جائزة نوبل عام ١٩٥٦ على وضع هذه النظرية – (المترجم) .

(٢) حاز عن اكتشاف هذه القوة كل من جلاشو ، عبد السلام ، وواينبرج على جائزة نوبل عام ١٩٧٩ – (المترجم) .

(٣) للمزيد عن نظرية الأوتار الفائقة ، نقترح كتاب « ما بعد اينشتين » ، ترجمة الدكتور فايز فوق العادة ، الناشر « اكاديميا » . – (المترجم) .

(٤) النيوترون أيضا جسيم غير مستقر اذا وجد حرا ، اذ ينحل الى بروتون والكترون .

الفصل التاسع

ما وراء المستقبل اللامتناهي

لدى أغلب الناس خوف فطري من الأماكن الفسيحة ، وهو شعور بدائي يرجع غالبا لعصر الأجداد الذين أفزعتهم فكرة الفضاء اللانهائي ، ففضلوا الاعتقاد في كون محتوى في طبقات متحدة المركز . حتى فكرة الفراغ بين الذرات أثارت قدرا من عدم الارتياح . فكثير من الفلاسفة الاغريق انفعلوا بعنف ضد فكرة القائلين بذرات تتكون منها المادة وتحوم في الفراغ . وقد اتخذ هذا الاحساس شعارا له في المقولة : « ان الطبيعة تمقت الفراغ » . وحتى ديكارت أعلن : « الفراغ نقيض للمنطق » . بل وحتى مطلع القرن العشرين لم تعدم عالما ذا شأن مثل ماخ يقف ضد فكرة الذرة لحساب فكرة المادة المتصلة بلا تجزئة . ويبدو أن الفزع من الفراغ يتم خوفا متأصلا في النفس البشرية . فلا عجب اذن أن يملأ الناس احساس بالوجل المشوب بالرهبة لما اثير في الآونة الأخيرة من امكانية ابتلاع الفراغ لهم .

ويعتبر كتاب جون تايلور **John Taylor** « الثقوب السوداء » المنشور عام ١٩٧٣ من أكثر الكتب العلمية انتشارا على الاطلاق . وعلى الرغم من أن فكرة وجود ثقوب سوداء في الفضاء كانت تتشكل في أذهان العلماء لردح من الزمن ، الا أنها لم تأخذ هذا الاسم المثير الا في أواخر الستينيات ، ولم تحز اهتمام العامة الا في السبعينيات . وقد سوغت الخصائص الغامضة والرهيبة لتلك الكينونات لها اهتماما فوريا وضمن لها مكانا راسخا في مفردات اللغة . فمن المألوف في أيامنا هذه أن تقرأ عن ثقب أسود في مركز مجرة منهمك في التهام ما حوله من مكونات الكون ، ولكنها منذ ربع قرن لم تكن سوى افتراض مبهم .

وتتكون الثقوب السوداء حين تنشط قوة الجاذبية ، أوهى قوى الطبيعة ، لتتسيد الموقف ، ويسمح لهذه القوة أن تتزايد بلا حد الى درجة أنها تمارس تأثيرها الجذبى على مدى الكون على وحايته . فبقية القوى محدودة ؛ فالقوتان النوويتان مقصـــورتان على البعد النووى ، والقوة الكهرومغناطيسية تدور بين الجذب والتنافر بما يجعل تأثيرها يلغى بعضه بعضا . لكن استمر فى زيادة المادة لجرم ما ، وستجد أن تأثيره يتزايد بلا حد .

ولا تعتمد الجاذبية لجسم ما عند سطحه على كتلته فقط ، بل أيضا على حجمه . فمثلا ، لو أن الأرض ضغطت لنصف قطرها الحالى ، لكان وزن كل منا أربعة أمثاله الآن . ذلك لأن الجاذبية تتبع قانون التربيع العكسى ؛ فتزداد مع نقص المسافة ، وزيادة الجاذبية تجعل مسألة الفرار من الأرض أصعب . فمع حجم الأرض الحالى تصل السرعة المطلوبة للانطلاق فى الفضاء والتحرر من جاذبيتها أحد عشر كيلو مترا فى الثانية الواحدة ، وهو ما يطلق عليه « سرعة الافلات » . وتصل هذه السرعة للأرض المضغطة لنصف حجمها أكبر من السرعة الحالية بما يقارب واحدا وأربعين فى المائة .

اعتقال الضــوء

لو أن الأرض استمرت فى تقلصها مع الحفاظ على كتلتها ، فسوف تتزايد الجاذبية عند السطح ومعها سرعة الافلات بلا حد . وحين تصل الأرض لحجم حبة فاصوليا ، تصل سرعة الافلات لسرعة الضوء . هنا الحجم يعتبر حجما حرجا . فهو يعنى أن جسما كهذا لا يمكن أن يصدر ضوءا . ومن الوجهة الواقعية تختفى الأرض ، وتصبح من وجهة نظر الشاهد لها ، سوداء تماما . والغريب أن فكرة وجود جسم فلكى ذى جاذبية تحبس الضوء ، قد أثارها منذ قرنين الفلكى والفيلسوف البريطانى جون ميشيل John Michel ، ثم أعادها للأذهان بعد ذلك بقليل الفرنسى بيير لابلاس Pierre Laplace .

وليس من خطورة أن تتقلص الأرض بهذه الطريقة ، فهى آمنة من حبة جاذبيتها بصلابة مادتها . أما بالنسبة للأجرام الأكبر حجما ، فالأمر مختلف . فالنجوم مثل الشمس منهمكة فى معركة لا يهدأ أوارها مع الجاذبية ، ولا يمنع انهيار هذه الكرات الغازية تحت تأثير وزنها الا ما يتولد بداخلها من ضغط هائل . فقلب النجم يصل للايين من درجات الحرارة ، وهذه الحرارة تنتج ضغطا يكفى لحمل الوزن الهائل للطبقات التتالية من

الغاز . ولكن الأمور لا يمكن أن تجرى على هذه الوتيرة للأبد ، فالحرارة تتولد من التفاعل النووى ، والمصير النهائى للمخزون من الوقود النووى بداخل الشموس هو النفاد . وعندئذ يقع النجم تحت رحمة الجاذبية .

وما يحدث بعد ذلك يعتمد بصفة أساسية على وزن النجم . فنجم كالشمس سينتهى به الأمر الى التقلص لحجم يساوى حجم الأرض ، متحولا الى ما يطلق عليه الفلكيون القزم الأبيض . ومثل هذه النجوم معروفة منذ أمد بعيد . فرفيق الشعرى اليمانية هو قزم أبيض يدور حوله . وبسبب الانضغاط ، فالجاذبية السطحية للقزم الأبيض هائلة . فملء ملعقة من مادته المدمجة تساوى حمولة سيارة نقل على الأرض ، ولكن وزنها يصل لعشرة ملايين طن تحت تأثير جاذبيتها المهولة . والأقزام البيضاء لا تنضغط بدرجة أكبر بفضل تأثير ميكانيكا الكم . فالالكترونات فيها لا تتقارب بدرجة أكبر بسبب تأثير على شاكلة التأثير الذى يحددها داخل الذرة فى مستويات طاقة معينة ، وهو الذى يمنع الذرة من الانهيار . وهذا مثال درامى للتأثيرات الكمية تمارس دورها .

ويعود تفهم قدرة تأثيرات الكم على وضع نجم فى حالة توازن الى الثلاثينيات . ففى ذلك الوقت ، كان طالب هندى يدعى سوبرامانيان شاندراسيخارSubramanian Chandrasekhar مبحرا على متن سفينة متجها الى انجلترا للعمل مع الفلكى البريطانى ذائع الصيت سير آرثر ادنجتون Sir Arthur Eddington . وخلال رحلته الطويلة أجرى بعض الحسابات ، وتبين منها أن نجما له كتلة أكبر من الشمس بنسبة ٥٠٪ تقريبا ، لن تنجح الالكترونات تحت تأثير الكم المذكور فى حمايته من المزيد من الانضغاط (١) . وقد عرض حساباته على ادنجتون الذى رفض تصديقها ، ولكن الطالب كان على حق ، فالنجوم بعد كتلة معينة لا يمكن أن تستقر عند أقزام بيضاء .

والانضغاط الأكثر فى النجوم التى كتلتها تسبب جاذبية تتغلب على تأثير الكم المدعم للالكترونات يسبب تغييرا فى بنية الأنوية الذرية التى تتركز فيها أغلب الكتلة . فالذرة المسحقة تعانى من شىء أشبه بانحلال بيتا معكوسا ، تنضغط فيه الالكترونات والبروتونات لتتحول الى نيوترونات . وتقوم النيوترونات تحت تأثير الكم السابق بنفس دور الالكترونات فى الأقزام البيضاء ، وتحت قدر معين من الكتلة يستقر النجم بعد انضغاطه عندما يعرف باسم النجم النيوترونى (راجع الفصل

السادس) . وينقلص حجمه نسبيا الى قدر معينة . بينما كتلته أكثر من كتلة الشمس . وسرعة الافلات للنجم النيوترونى هى نسبة من سرعة الضوء . ومنها علمنا أن نجوما تقترب من النجوم السوداء التى قال بها ميشيل ولابلاس موجودة بالفعل .

فماذا عن النجوم الأكثر كتلة من النجوم النيوترونية ؟ ان الفلكيين غير متأكدين من الحد الذى بعده يحدث مزيد من الانضغاط عن النجوم النيوترونية . بل ومنهم من يقترح مرحلة تالية من استقرار النجوم ، تستقر فيها المادة عند مرحلة الكواركات . ولكن حدا عاما يمكن استنباطه من النسبية العامة .

فلدعم نجم ذى كتلة معينة ، فان عنته يجب ان يكون على درجة معينة من الصلابة . وكلما ازداد النجم وزنا ، زادت الصلابة المطلوبة لمادة قلبه . وتحتد الصلابة بدورها على سرعة انتقال الصوت بداخل المادة ، فتزداد مع زيادة الصلابة . فاذا ما بلغ النجم ثلاثة أمثال وزن الشمس ، وصلت الصلابة المطلوبة لإبقائه لما يقابل سرعة انتقال الصوت أسرع من الضوء ، وهو محال من وجهة نظر النسبية . وليس أمام النجم الا أن يواجه انهيارا تاما بفعل الجاذبية .

ولو كان لنجم أن يواصل الانهيار بعد مرحلة النجم النيوترونى ، فان انكماشه يتم فى أجزاء من الألف من الثانية . الى هذه الدرجة تكون قوة جاذبيته . ويتجاوز سطح النجم سريعا الحد الذى يحبس الضوء ، ولذا فان مشاهدا على البعد لن يستطيع رؤيته بعد وصوله هذه المرحلة . ورغم أن ميشيل ولابلاس كانا محقين فى امكانية تواجد نجوم سوداء ، فانهما كانا مخطئين فى تصورهما امكانية أن يكون النجم مستقرا عند هذه المرحلة . فنحن نعلم الآن ان نجما كهذا لن يستقر على حالة حين يصل لمرحلة حبس الضوء ، بل سيواصل انكماشه الى أن يتلاشى تماما من الوجود ، مخلفا وراءه ثقبا يحمل بصمة من جاذبية مهولة لما كان نجما يوما ما ، تتمثل فى التواء عنيف فى كل من الزمن والفضاء . وعلى ذلك ، فان منطقة الانهيار الجاذبى الكامل تظهر سوداء وفارغة معا ، اى ثقب أسود .

تهــاوى النجــوم

هذا عن النظرية ، فماذا عن الواقع ؟ ان لدى الفلكيين شواهد مباشرة على وجود الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية . أما الشواهد على وجود الثقوب السوداء فمثيرة للمتاعب . ان تحت أيدينا تصورا مقنعا لكيفية

تشكلها ، فالأمر ليس موجزا فى انهيار تام وشامل للنجم . بل هو أكثر من ذلك تعقيدا . فالتفاعل النووى الذى يبقى على النجم حارا يتم فى أعماقه . وحين يأذن الوقود بالنفاد ، تتضاءل قدرة النجم على انتاج ضغط يقاوم الوزن الهائل لطبقاته المتتالية ، فيتقلص قلبه تحت تأثير الجاذبية . ويمكن ان تؤدى الظروف لان يكون ذلك التقلص فجائيا . وحين ينهار النجم على نفسه بهذه الطريقة ، فانه يطلق دفقة من الطاقة . جزء منها على صورة موجة تصادمية ، ولكن أيضا على صورة دفقة مهولة من جسيمات النيوترينو (وهى أيضا من النتاج الثانوى للعمليات النووية التى تجرى داخل قلب النجم) .

وتحت الظروف المعتادة ، ليس لجسيمات النيوترينو تأثير يذكر على المادة . تفاعلها معها من الضعف بحيث يمكنه اختراقها مباشرة . ولكن التركيز الهائل للمادة المواجهة لانتشار جسيمات النيوترينو المصاحبة للموجة التصادمية يعوقها بدرجة كبيرة ، فيتسبب ذلك فى ضغط منها على طبقات النجم الخارجية يؤدى الى انفجارها وتشتتها للخارج فى الوقت الذى ينهار فيه القلب للداخل . والانهيار والانفجار المتلازمان يعرفان لدى الفلكيين بانفجار المستعر الأعظم ، أو السوبر نوفا .

وانفجار المستعرات العظمى من أكثر الأحداث الفلكية اثارة . فلعدة أيام ، يماثل الضوء القادم من النجم ما يصل من مجرة كاملة ، اذ ان الطاقة المنبعثة من الانفجار تكون على صورة ضوء وصور أخرى من الاشعاع . ومثل هذا الانفجار فى مجرتنا يرى بالعين المجردة . ومن حوادثها الشهيرة حادثة « النجم الزائر » فى كوكبة الثور ، والتى سجلها الصينيون عام ١٠٥٤ . واليوم ، تظهر التلسكوبات سحابة متشتتة تعرف باسم سديم السرطان فى موضع الانفجار ، وهى البقايا المتخلفة عن موته الذى شوهد منذ ألف عام تقريبا .

وتشهد المجرة المتوسطة من انفجاره الى ثلاثة كل قرن ، رغم أنه لم يشاهد فى مجرتنا حادثة كهذه منذ اختراع التلسكوب . على أنه عام ١٩٨٧ شوهد انفجار مستعر أعظم فى سحابة ماجلان الكبرى ، وهى مجرة صغيرة تابعة لمجرتنا درب التبانة ، تشاهد فى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية . وقد قدم الحادث للعلماء فرصة ذهبية لاختبار آرائهم عن هذه الانفجارات . وقد وضع النجم المنكوب تحت ملاحظة دقيقة منذ اليوم

الأول للواقعة . وأهم ما في الأمر هو أن الحادثة شوهدت عيانا في يوم انفجاره الأول ، اذ سجلت دفقات من جسيمات النيوترينو في ثلاثة مواضع من الأرض في نفس الوقت ، كانت تجرى فيها تجارب لاكتشاف انحلال البروتون . وبات من المؤكد انها قادمة من قلب نجم ، وشكل وصولها مع الضوء المنبعث منه حال انفجاره دليلا مبشرا بسلامة افكارنا الأساسية عن انفجارات المستعرات العظمى .

ولكن ماذا عن مصير القلب المنهار الذى قدح زناد هذا الانفجار ؟ ان مراقبة سديم السرطان قد كشفت عن نجم نابض في منتصفه . ومن الواضح أن هذا النجم المتحجر بالذات قد آل الى نجم نيوتروني ، ولكن لم يكن من مانع لدى الفلكيين من ان يتحول الى ثقب اسود ، بل انهم ليعتقدون أن قدرا لا بأس به من انفجارات المستعرات العظمى قد آلت بالفعل لنفس المصير .

ولو أن مستعرا أعظم آل الى ثقب اسود ، فليس من المحتمل الكشف عنه من الأرض ، فهو أولا وأخيرا ثقب أسود . ولكن كثيرا من النجوم تتزاوج في نظام ثنائي . ولو آل أحدهما لثقب اسود فسيبدو الآخر وكأنه يدور حول لا شيء . وفي كثير من الأحيان يجذب الثقب الأسود من مادة زميله ، ثم يبتلعها .

وبينما هذه الدوامات تشق طريقها الى داخل الثقب ، تتولد حرارة فظيعة ، مما يسبب انبعاث اشعاعات كثيفة من اشعة اكس . وعلى ذلك ، فان علامة طيبة لوجود ثقب أسود أن يلاحظ نظام ثنائي ، أحد أطرافه غير مرئي ، ويكون مصدرا قويا لأشعة اكس . وفي نظام كهذا (يعرف باسم الدجاجة س-١ Cygnus X-1) أمكن بمراقبة حركة الجسم المرئي تقدير كتلة الجسم الخفي ، والتأكد من انه بالفعل قد تجاوز حد النجوم النيوترونية .

وليست انهيارات النجوم هي الوسيلة الوحيدة لتكون الثقب الأسود . فكلما كانت المادة متاحة ، تيسر حدوث الانهيار التجاذبي . فعلى سبيل المثال ، قد يتكون ثقب اسود من مادة تصل لبليون شمس ، تكون كثافتها اكبر من كثافة الماء على كوكبنا . وهناك شواهد على وجود ثقب أسود بتلك الكتلة في مركز المجرة . وبالتأكيد يوجد هناك جرم ضغط يمثل أيضا مصدرا للشوشرة الراديوية والاشعاعات الأخرى .

وقد تضم المراكز المجرية ثقوبا سوداء ذات أجرام كبيرة ، تكافىء كتلة الشمس بليون مرة . هذه الوحوش تكتشف عن وجودها من وقائع التهامها لما يحيط بها من مادة . ويبلغ من عنف الالتهام أن تنطلق نتيجة له كميات هائلة من الطاقة تحس بما تنتجه من مادة تنفث بسرعات عالية ، أو بما تولده من نبضات قوية من الاشعاعات . وتمثل المجرة م ــ ٨٢ M82 مثالا طيبا لنظام نشط يحتوى على ثقب اسود هائل .

وتمثل أشباه النجوم ، أو الكوازارات ، طائفة أخرى من الأجرام ، توجد مصاحبة للمجرات المضطربة . فالتغير في ضوئها ينبىء عن أن حجمها لا يزيد عن حجم نظامنا الشمسى ، ولكن الضوء المنبعث منها يوازى مجرة ذات بليون نجم . ولدينا الآن شواهد طيبة على أنها قاطنة مراكز المجرات ، وتعطى أمثلة لأنشطة تشبه النظام (م ــ ٨٢) . ويعتقد كثير من الفلكيين أن القوة الرئيسية التى تمد هذا النشاط هي ثقوب سوداء فائقة الكتلة منغمسة في غازات دوامية .

وبحكم التعريف ليس لنا أن نرى الثقوب السوداء . ولكن يمكننا أن نستنبط من النظريات ما يحدث لفرد يدلف اليه ، ويستكشف ما بداخله . والشيء الجوهرى لفهم الطبيعة الفيزيائية للثقب الأسود هو ما يطلق عليه « أفق الأحداث event horizon » ، وبعبارة فضفاضة ، هو سطح الثقب . فكل حدث يجرى وراء ذلك الأفق ، لا يمكن مشاهدته من الخارج ، حيث انه ما من ضوء أو اشارة أخرى يمكن أن تفلت من الثقب ، كما تنتقل لنا أية معلومة عما يجرى بداخله .

ولو قدر لك أن تقتحم شيئا كهذا ، فلن تكون فقط غير قادر على الافلات منه ، بل لن تستطيع ــ كالنجم الذى سبقك الى داخله ــ أن تمنع نفسك من الاستمرار في الهبوط . أما ما سيحدث لك عند المركز ، فليس لأحد علم يقينى به . فطبقا للنسبية العامة ، يوجد ما يسمى « مفردة singularity » هناك ، حد من الزمن والمكان ضغط عنده النجم الأصل (وكل ما ابتلعه) الى تركيز لا نهائى تحطمت عنده كل قوانين الفيزياء . ومن المحتمل أن تأثيرات الكم تجعل الزمكان شيئا غير محدد الملامح عند القرب جدا من المركز ، حيث تصبح المفردة هلامية على مستوى مسافة بلانك البالغة ١٠-٣٣ من المتر . عند هذه المرحلة لا توجد لدينا نظرية ترشدنا . وليس من الحكمة أن نحاول أن نستكشف بأنفسنا أو أن نرسل انسانا آليا . فالجاذبية الهائلة لدى المركز تتزايد الى قيمة لانهائية .

الأمر الذي يتخلص من تأثيرين . اذا ما كان نزولك من جهة قدميك ، فستكون الجاذبية عليهما أشد منها على رأسك الأبعد من المركز ، وفي هذه الحالة ستمط طوليا أكثر وأكثر ، في الوقت الذي تزداد فيه نحافة بسبب الضغط على جانبيك . وفي نهاية هذه « المكرونة الاسباجتية Spaghettification » سوف تسحق الى الفناء (او تضيع في غموض عدم يقين الكم) . وسوف يحدث كل ذلك في كسر من الثانية قبل وصولك للمفردة . ولذا فلن يقدر لك أن تراها دون أن تكون جزءا منها بلا رجعة .

على أن الأمر سيبدو مخالفا لذلك بالمرة للشخص الذي يراقبك من الخارج . فالجاذبية لا تلوى الفضاء فقط ، بل أيضا الزمن . فبالقرب من نجم نيوتروني يكون هذا التأثير ملموسا ، وقد اكتشف بالفعل في اشعاع النجوم النابضات . فمع اقترابك لأفق الحدث لثقب أسود ، يطول بك الزمن أكثر وأكثر بالنسبة لمراقب لك على البعد . ومع ذلك ، فان من يعبر ذلك الأفق لن يرى شيئا غير عادى ، فأفق الحدث ليس له تميز مكانى ، رغم كونه يمثل حدودا لالتواء لا نهائي للزمن . فبالنسبة لمراقب خارجي ، سيبدو الأمر مستغرقا زمنا لانهائيا خلال اقترابك من افق الحدث ، بمعنى أن الزمن من - منظور معين - سيبدو كما لو كان متوقفا بالنسبة لزمن المراقب على البعد . وعلى ذلك ، فما يحدث لك داخل الثقب سيكون في المستقبل اللانهائي للكون الخارجي .

ولذلك السبب تعتبر الرحلة الى داخل الثقب الأسود رحلة ذهاب بلا عودة . فدخولك الثقب ثم خروجك منه سيعني أن المراقب الخارجي سيراك خارجا قبل أن تدخل . بمعنى آخر ، ستكون قد رحلت في زمن معكوس . وليس لهذه النتيجة أن تسبب دهشة ، فالخروج من الثقب يعني الانتقال بأسرع من سرعة الضوء ، وهذا كما رأينا يعني رحلة في زمن معكوس .

فاذا كان الشيء الذي يسقط في الثقب لا يمكنه الخروج مرة أخرى ، فماذا يحدث له ؟ وكما قدمنا ، أي شيء يقابل المفردة يواجه الفناء ، فهو يختفي من الوجود . فكرة مستديرة تماما من المادة ، حين تنهار لتصبح ثقبا أسود ، ستتقلص في اتجاه المركز ، وستنضغط المادة الى مفردة . ولكن ماذا لو أن الجسم لم يكن كرة كاملة الاستدارة ؟ كل الأجرام الفلكية المعروفة تدور بسرعات مختلفة ، وحين تزداد سرعتها مع تقلصها تنفرطح

عند خط استوائها . هذا التشوه لن يمنع المفردة من التكون ، ولكنه يعني انها لن تشمل كافة أجزاء النجم .

وقد درست نماذج مثالية لثقوب سوداء مشحونة ودوارة ، لمعرفة اين تتكون المفردة منها ، وما مصير المادة الداخلة فيها - وقد بينت الدراسات أن الثقوب السوداء تمثل جسرا ، أو نفقا في الزمكان ، بين كوننا وكون آخر غير ممكن وصوله من كوننا . هذه النتيجة المذهلة تثير التصور لرحالة فضائي جسور يمر خلال الثقب غير مصاب بأذى ، ليجد نفسه في كون آخر ، في مكان ما من مستقبلها اللانهائي . ولو تم له ذلك فلن يستبعد أن يستطيع العودة الى نقطة بدايته من الثقب الأسود ، ليعبر النفق مرة أخرى .

ولكن عبوره النفق من الكون الجديد لن يعيده لكوننا ، بل لكون ثالث ، وهكذا بلا نهاية . فالثقب الأسود الدوار مرتبط بسلسلة لانهائية من الأكوان ، يمثل كل منها زمكانا متكاملا قد يكون ذا امتداد لانهائي ، كلها مرتبطة بداخل الثقب . وان تصور استخلاص اية فكرة تطبيقية من هذه الأفكار ، لهو أمر يستحسن تركه لكتاب الخيال العلمي .

ما الذي يبدو عليه الطرف الآخر من الثقب الأسود لمراقب من الكون الآخر ؟ طبقا لأبسط النماذج الرياضية ، فان الشاهد سيرى ذلك الشيء مصدرا لمادة منبثقة ، خلق انفجاري للمادة ، يسمى غالبا « ثقبا أبيض White hole » وكوننا ملىء بالأشياء المنفجرة ، كالكوازارات ، وهو ما أثار تصور أن تكون هناك بالفعل انفاق زمكانية تتسرب منها المادة لكوننا قادمة من كون آخر . على أن الذين يحملون هذه الأفكار محمل الجد من علماء فيزياء الكون قليل عددهم . وعلى وجه الخصوص ، فهم يبينون أن النماذج الرياضية المبسطة تتجاهل تأثير ما يحيط بالثقب من مادة واشعاع ، واحتمال امتصاصهما لداخل الثقب الأبيض بفعل الجاذبية ، لتحوله لثقب أسود . كما أن النماذج المبسطة تتجاهل تأثير الفيزياء دون الذرية فالنماذج الأكثر تطورا ، تبين أن هذه التأثيرات تنتج من الاضطرابات داخل الثقب ما يحطم الأنفاق الزمكانية التي تربطنا بالأكوان المفترضة . والرأى العام لدى الجميع أن المادة المقتحمة لثقب أسود سوف يكون مآلها المفردة، أو بشكل بآخر .

فماذا لو أن التأثيرات الكمية الغت المفردة بشكل أو بآخر ؟ للأسف، ليس تحت أيدينا نظرية كم متكاملة عن الجاذبية ، فليس فى استطاعتنا أن نصنع نموذجا موثوقا به لذلك الفرض • فالغاء المفردة كلية أمر غير مؤكد • ويتوقع بعض العلماء أن تكون الحالة كذلك ، بينما يتجه البعض الآخر الى أن المفهوم المتعلق بالزمن والمكان فى حد ذاته لن يستمر ساريا تحت تلك الظروف المتطرفة • اما ما يمكن أن يحل محلهما بالضبط فأمر متروك للتفكير • وعلى ذلك ، فمن الأحوط النظر للمفردة على أنهـا نهاية للفيزياء كما نعرفها ، وليس لكل أشكال الفيزياء •

ثقوب الديدان والسفر عبر الزمن

لقد كانت الفكرة المثالية عن ثقب أسود يسمح بالتنقل بين الأكوان معروفة لأكثر من عشرين عاما ، نظرا لمفهوم الانفاق كتراكيب رياضية خالية من أى مضمون فيزيائى • ومنذ عدة سنوات ، كتب الفلكى الأمريكى رواية خيال علمى أسماها « الاتصال connection » ، عن مجتمع متقدم استطاع بناء نفق للعبور السريع بين أجزاء الكون • ولكى يعطى روايته شكلا مقنعا ، فقد سأل مشورة خبير فى الثقوب السوداء ، الفيزيائى الكوتى كيب ثورن Kip Thorn • وتحت تأثير الاعجاب بالفكرة ، فقد ناقشها كيب مع زملائه ، بغية معرفة المحددات الفيزيائية التى تحول دون تطبيقها • واتضح أن لها جانبا جديا أيضا •

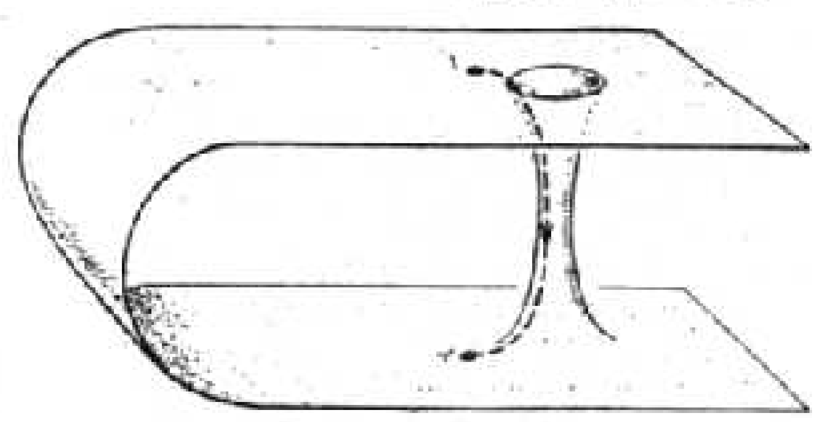
لقد افترضت الحسابات السابقة عن أنفاق الثقوب السوداء افتراضات معينة عن طبيعة المادة • وقد افترض على وجه الخصوص ، بعبارة فضفاضة ، أن المادة تتسبب على الدوام فى قوة جاذبة • ولكننا رأينا فى الفصل الخامس أن تأثيرات الكم يمكن تحت ظروف معينة أن تنتج جاذبية مضادة • فلو أن هذه الظروف أمكن تطبيقها على مدخل الثقب ، فقد تتحقق امكانية جعل الرحلة عبره ذهابا وإيابا •

ومفتاح الجاذبية المضادة هو انتاج ضغط سالب بوسيلة أو بأخرى• واتجه فريق كيب الى تأثير كاسيمر (راجع الفصل الخامس) للحصول على ذلك • فهم يدعوننا لتخيل لوحين عاكسين متقاربين بقدر كبير ، ولتفادى اقتراب اللوحين لدرجة التماس ، تحت تأثير كاسيمر ، فقد زود اللوحان بشحنتين تولدان تنافرا يعادل بالضبط قوة التجاذب بينهما • وقد تصور الباحثون وضع تجهيز كهذا فى مدخل النفق الفضائى •

وقد بينت الحسابات أن معادلات المجال التجاذبى كما وضعها آينشتين متحققة فى تركيب كهذا ، وأن الجاذبية المضادة المطلوبة هى بالضبط ما يتفادى النفق من الانهيار الى المفردة • وأصبح بذلك مدخل النفق ومخرجه ليسا لثقب أسود بالضبط ، ولكن لمجرد منطقة ذات قوة جاذبية هائلة يمكن للمسافر التخيل أن يعبرها جيئة وذهابا دون خشية أن يبتلع للأبد •

وكتمثيل مبسط لما يمكن أن يحدث ، تخيل نفسك مسافرا من انجلترا الى استراليا • فبسبب انحناء سطح الأرض ، ستكون مضطرا الى السير فى قوس معين • ولكن لو أمكنك ثقب نفق عبر الكرة الأرضية ، فسيحقق لك الكثير من توفير وقت الرحلة •

ومن السهل تصور كيف يمكن للأنفاق المصاحبة للثقوب السوداء أن تقوم بدور مشابه عبر انحناء الزمكان (الشكل ٤١) • وكالعادة لنمثل الزمكان بصفحة من الورق مطوية كما فى الشكل • فلو أنك تمكنت من وصل سطحى الورقة بعد طيها عبر البعد الثالث ، فانه يكون بامكانك التنقل بين السطحين دون أن تكون مضطرا للدوران (٣) • هذا التواصل عبر مناطق من نفس الزمكان يعرف لدى أرباب النسبية باسم ثقوب الديدان Worm holes • وأى شىء نتصوره حادثا لصفحة من ورق ثنائية الأبعاد عبر بعد ثالث ، يمكن رياضيا امتداده للزمكان الرباعى عبر أبعاد أعلى • فلو أن النقطتين متباعدتان بسنة ضوئية ، فانه يستحيل قطع تلك المسافة فى أقل من سنة ، اما بالعبور خلال ثقب دودى ، يمكن لاشارة ، أو ربما شخص ، أن يحقق ذلك •



الشكل (٤١) ثقب دودى يربط منطقتين كانتا متباعدتين فى الفضاء ، ويحقق المسار عبر الثقب الدودى اختصارا للرحلة •

والآن لنتصور أن الزمكان المطوى قد أعيد فرده مرة أخرى ، مع الحفاظ على الثقب ممتدا بين النقطتين . سيكون الوضع فى هذه الحالة أقل اثارة ، حيث ان المسافة بين النقطتين عبر الزمكان المفرود ستصير أقل منها عبر النفق الذى سيكون هو المنحنى ، مما يجعل الانتقال خلاله أطول وقتا .

على أن الموقف ليس بالضرورة كذلك ، لأن المكان والزمن يتصرفان بصورة غير تقليدية عبر الثقب الدودى . فعلى الرغم من كون الزمكان الأصلى هو المسطح (أو تقريبا كذلك) والثقب هو المقوس ، فان الاحتمال قائم أن يعبر المسافر بين النقطتين فى طرفة عين ، مهما كانت المسافة بينهما عبر الكون .

ورغم أن التصورات التى تمخضت عن دراسات فريق كيب تذهب بالللب ، فان وجه الغرابة فيها ليس فى السفر عبر الفضاء فى الواقع ، بل عبر الزمن . لقد ذكرنا ان السفر أسرع من الضوء يعنى السير معكوسا فى الزمن . فالانتقال من النقطة (أ) الى النقطة (ب) عبر ثقب دودى معناه الوصول للنقطة (ب) قبل وصول الضوء من (أ) اليها . فعلى سبيل المثال ، يمثل الانتقال من الأرض الى مركز المجرة لحظيا عبر نفق دودى أن يكون المرء سابقا على وصول الضوء من الأرض بثلاثين ألف سنة عبر طريق الكون . وليس معنى ذلك الانتقال الى ثلاثين سنة فى الماضى . ولكن تعديلا بسيطا فى الواقع يجعل السفر عبر الزمن ممكنا .

والتعديل الضرورى يتمثل فى أن تثبت فتحة من فتحتى الثقب ، وتجعل الأخرى متحركة بما يقارب سرعة الضوء . فاذا ما أوقفت الفتحة المتحركة ، ثم أعيدت الى قرب معقول من الساكنة ، فان فرقا زمنيا يكون قد خلق بين الفتحتين . وهذه نتيجة مباشرة من تأثير التوءمين ، حقيقة أن الساعة المتحركة تسير أبطأ ، وهى احدى النتائج الهامة للنسبية الخاصة ، كما قدمنا فى الفصل الثالث . فسوف يكون الزمن مقيسا بساعة عند الفتحة الثابتة ، أطول مما سجلته ساعة تحركت مع الفتحة المتحركة . ولهذا ، فيمكن القول ان الفتحة المتحركة ستكون فى الزمن الماضى بالنسبة للثابتة . ولكن الحاضر ، بالنسبة لأى شخص مسافر عبر الثقب الدودى ، يكون دائما هو اللحظة التى عند الفتحة التى دخل منها . وفى حالة دخول شخص من الفتحة التى تحركت ، وبفرض وجود الفتحتين على بعد مناسب ، فسيكون خروجه من الفتحة الثابتة قبل لحظة الدخول . ومعنى ذلك أن الرحيل جيئة وذهابا بين الفتحتين يجعل المرء يتوغل أكثر

فأكثر فى الماضى . ولكنك لن تستطيع أن تتوغل بأبعد من اللحظة التى بدأت فيها الفتحة المتحركة ، وبدأ فيها استقرار ظاهرة مط الزمن .

ومن غير المثير للدهشة أن ننبه الى أن هذا العرض ملىء بالمحاذير . وأبعدها متعلق بأهم عامل فى الأمر ، السطحان العاكسان اللذان سيثيران تأثير كاسيمر . فمن المهم ألا تخلق مادتهما جاذبية تفوق الجاذبية المضادة التى يثيرانها . ومن الصعب تصور كيفية تحقيق ذلك . وبالاضافة الى ذلك يجب التفكير فى وسيلة بحيث لا يخل المتنقل عبر الثوحين (الباب السحرى ؟) بالتوازن الدقيق للنظام . وتتعلق مشكلة أخرى بكيفية تحريك الفتحة المتحركة ، فهى ليست من مادة يمكن امساكها وجرها ، بل هى من الفضاء (وان كان منحنيا) . فيجب التفكير فى شىء من قوة جاذبية أو كهربية تحقق ذلك ، مع الأخذ فى الحسبان عدم تقلص قطر الثقب الى الصفر خلال عملية تحرك الفتحة ذهابا وعودة . وبصرف النظر عن كل ذلك ، فهنالك مشكلة خلق الثقب الدودى ذاته .

نريد الآن التركيز على أنه ليست أى من صور تلك الثقوب المفترضة مأخوذة مأخذ الجد ، فهى من قبيل التجارب الذهنية . فالموقف التقليدى هو أن السفر عبر الزمن محظور لأية عملية فيزيائية مهما كانت ، لا لشىء الا لاستقرار النظم الفيزيائية .

تصور أن مسافرا عبر الزمن قد رحل الى زمن طفولة جدته ، وقتلها ، وقتلها وهى طفلة ، لن يكون هو موجودا ، فيستحيل أن يقوم بفعلته . مثل هذا التناقض الداخلى يستدعى أن نتصور ضرورة قانون فيزيائى يحتم أن يوجد رابطة سببية متسقة للعمليات الفيزيائية ، بحيث يحال دون قتل قتل الجدات بأن يتعطل المسدس مثلا ، أو لن يتضح أنه كان ابنا بالتبنى ، أو أية وسيلة أخرى . ولكن لو كنت معتقدا فى الأكوان المتعددة ، فيمكنك تصور عمليات لا تؤثر على ماضى نفس الكون ، بل على كون قريب منه .

ومهما كان وجه الغرابة فى تجارب الذهاب والعودة هذه ، فانه من الواجب التفكير فى السؤال ، هل قوانين الفيزياء فقط هى التى تحول دون السفر عبر الزمن ، أم أن قواعد أخرى تساهم فى ذلك الحظر . لقد كان هذا هو الدافع الحقيقى لعمل ثورن ورفاقه .

ولكن موضوع ثقوب الديدان هو محل أبحاث حاليا من قبل فرق بحث أخرى ، لكن ليس من وجهة نظر السفر الخيالية عبر الزمن . فقد

تركز الاهتمام بدلا من ذلك على ثقوب الديدان الميكروسكوبية التى عرضنا لها بايجاز فى الفصل الخامس ، تلك التى تحدث بصفة طبيعية خلال الزبد الزمكانى . فكما أن الاضطرابات فى الفراغ تخلق فوتونات وقتية ، فهى على نطاق أشد صغرا تخلق (تقديريا) ثقوبا ديدانية لحظية ، وحجم ثقب منها يبلغ جزءا من 10^{-20} من حجم نواة الذرة . وعلى ذلك ، فعلى المستوى الميكروسكوبى الفائق ، سيتحول الفراغ الى متاهة من تلك التراكيب ، مسوغة أن يطلق على طوبوغرافيته لقب الزبد . وبتجاوز كبير ، يصف النسبيون هذه الأنفاق بأنها ثقوب ديدان « ميكروسكوبية » .

ويفترض المتحمسون بريادة الزمن أنه لو أمكن الامساك بواحدة من تلك الثقوب الميكروسكوبية وتمديدها الى أن تصبح بأبعاد مرئية ، فانها يمكن أن تستخدم كآلات للزمن . ويقترحون أن الكون من حولنا ملىء بمثل هذه الآلات الزمنية الدقيقة والوقتية ، ولا تحتاج الا للتمكن من استغلالها . ولكن الامساك بثقب منها ، ومطه لأبعاد مرئية ، ناهيك عن منعها من التردى ، كلها أمور تجعل منها ، كما تكرر دائما ، خالية من مضمون واقعى . ولكن الأمر الجدى هو احتمال أن تمدنا أبحاث الثقوب الديدانية التقديرية بارشاد عن موضوع غاية فى الأهمية فى الفيزياء الحديثة .

ما وزن الفضاء الخاوى

ان فكرة أن يكون للفضاء وزن هى فى حد ذاتها مستغربة ، وقد تبدو بلا معنى . كيف يمكن أن يكون « اللاشىء » ذا وزن ما . علينا أن نتفهم جيدا أن الفضاء هو أبعد ما يكون عن «لاشىء» . فحتى حين يفرغ مكان ما من كل صور المادة ، فسيظل مرتعا للجسيمات التقديرية التى تخلقها تأثيرات الكم ، تهب للفراغ من حولها طاقة وضغطا . والطاقة لها كتلة تحسب من معادلة أينشتين $\text{ط} = \text{ك} \times \text{ج}^{2}$ ، حيث ج هى سرعة الضوء ، هذه الكتلة يتوقع لها أن تكون ذات جاذبية .

لكن للأسف لا تكون عملية الوزن فى صورة وضع صندوق فارغ ووزنه . فالفضاء يحيط بنا ، واذا كانت له جاذبية فستكون متساوية من كل الاتجاهات . والشىء الوحيد الذى يبدو فيه أثر تلك الجاذبية هو حركة الكون ككل . وقد بينا فى الفصل الخامس كيف أن طاقة الفراغ التقديرية تخلق جاذبية مضادة ، وليست عادية ، حيث أن الضغط المصاحب لها ضغط سالب . وطبقا للتصور التضخمى ، فان « الوزن السالب »

للفضاء هو ما تسبب فى الفترة التضخمية ، لكن العنيفة ، من تمدد الكون فى مرحلة نشوئه المبكرة .

وفى نهاية المرحلة التضخمية ، كان وزن الفضاء بصفة أساسية صفرا . ومع ذلك فقد أجريت محاولات للكشف عن أى تأثير ضئيل قد يكون متخلفا عن تلك المرحلة الأولى . فلو أن وزن الفضاء ظل أكثر من الصفر بمقدار مهما كانت ضآلته ، لكان ذلك مبينا فى الطريقة التى بها يتمدد الكون ، فى مواجهة الجاذبية للمادة العادية التى تحاول ابطاء ذلك التمدد .

وحتى الآن لم يكتشف تأثير من هذا القبيل . ويمكن وضع حد لما يمكن أن يكون عليه وزن الفضاء . والرقم ضئيل بقدر لا يتصوره عقل ، 10^{-120} من الوزن الذى كان سائدا وقت التضخم ، وهو ما يغرى باعتبار وزن الفضاء الآن صفرا حقا . ولكن هذه النتيجة تؤدى بنا الى موقف متناقض . فنحن نتوقع أن تكون طاقة الفضاء الكمى عالية جدا وعلى ذلك فنحن أمام وضع يوحى بأن تكون المرحلة التضخمية هى المجرى الطبيعى للأمور ، بينما حالة الوزن القريب من الصفر للفضاء اليوم هى الشاذة ، بل قد تكون « من وحى الخيال » .

لماذا من وحى الخيال ؟ تبدو دقة التعبير من محاولة فهم كيفية أن تكون القيمة الحالية بهذا الصغر . ان طاقة فضاء الكم قد تكون فى الواقع موجبة أو سالبة ، طبقا لطبيعة المجال . ولو أن الطبيعة نظمت الطاقات الموجبة والسالبة بحيث تتلاشى ، فان النتيجة تكون صفرا . ولكن ذلك يتطلب عملية امساك دفاتر دقيقة للغاية على المستوى الكونى . ولما كان من غير المحتمل أن يحدث ذلك اعتباطا ، فان الأدعى للمنطق أن نتصور ميكانيزما معينا يجبر وزن الفضاء على أن يكون صفرا .

من هنا المدخل تظهر فكرة ثقوب الديدان فى الصورة . فأحد المجالات التى تساهم فيها طاقة فراغ الكم هو المجال التجاذبى ، والذى تسبب الاضطرابات الكمية فيه ليس فقط فى خلق ثقوب ديدان وليدة ولكن تشوهات أخرى فى هندسة الزمكان . بعض من تلك التشوهات تكون على شكل « كون وليد » متكامل ، مرتبط بزمكاننا بواسطة ثقب دودى ، كما لو كان حبلا سريا . كل ذلك يحدث على مستوى ميكروسكوبى بالغ الصغر ، وعلى المرء أن يتخيل تلك النتوءات فى اضطراب دائم ، أحيانا تنفصل عن كوننا حين ينقطع الحبل السرى ، وأحيانا أخرى تمتص ثانية فى زمكاننا حين تخبو تأثيرات الكم .

والتأثير التراكمي لذلك هو تغليف كوننا بشيء أشبه بفقاقيع عارية من فضاءات دقيقة في حركة دائبة . كل فقاعة هي في الواقع كون متكامل من فضاء وزمن ، أشبه بصورة الأكوان المتوازية التي عرضنا لها سابقا . وترتبط هذه الفقاقيع بكوننا بالثقوب الديدانية . وكيا فحسنا يبلغ قطرها جزءا ضئيلا من قطر نواة الذرة ، ومن ثم لا يمكن رؤيتها مباشرة .

كيف يؤثر ذلك في طبيعة الفراغ ؟ لقد قام ستيفن هوكنج من كامبردج وسدني كولمان من هارفارد بمهمة حساب تأثير تلك الناعة الفطيمة من الزبد على وزن الفضاء المتشبثة به . وقد اعتمدت حساباتهم على مبدأ عام من مبادئ الفيزياء يطلق عليه مبدأ الفعل الأقل the least action ومفهومه أنه ما من تغيير يحدث الا ويكون بحيث يستهلك أقل مجهود . فكرة البلياردو مثلا تسلك الخط المستقيم ، ولا تجهد نفسها في السير في طريق متعرج ما لم تؤثر عليها قوة تجبرها على ذلك . هذا المبدأ المتعلق بالكسل من الطبيعة حين يطبق على تفاصيلات الثقوب الدودية يعني أن الأكوان الوليدة ذات الطاقة الأقل هي المحبذة عن ذات الطاقات الأعلى ، وأكثرها تحبذا هي ذات الطاقة الصفرية . ويؤدي ذلك بالمتوسط المتوقع لطاقة الفراغ الكمي تكون قريبة من الصفر ، وهذه القيمة تتخلل كوننا من آلاف الأكوان الوليدة التي تترابط معه .

ولو صحت هذه الحسابات ، فستكون قد وصلنا الى نتيجة غريبة ، فتوقعنا الساذج بأن وزن الفضاء صفر قد اتضح صحته ، لكن ليس للسبب الذي دار بخلدنا . فالسبب ليس له علاقة بالخواء ، ذلك لأنه حتى الفراغ الخاوي متأجج بالنشاط الكمي . أما انعدام الوزن فبسبب الزمكانات الطفيلية التي تتعلق بكوننا عن طريق الثقوب الديدانية ، والتي لولاها لتداعى كوننا .

ان الموضوع ، ذا الوزن ، الذي أثرناه في القسم السابق ليبين بجلاء مرة أخرى كيف تم تجاوز النمط الفكري النيوتوني ، ذلك أنه في اطار الأنشطة الكونية اتضح أن دور المادة هامشي ، وأن النشاط الأساسي يأتي من قبل أقل كينونات لامادية متصورة ، فتاه من ثقوب الكم الدودية اللحظية ، ليست سوى زبد من الفضاء الخاوي تتشكل على هيئة أنفاق ، وهقد ، وجسور نصف حقيقية . وانه فقط بسماح من الخواص المتميزة لهذا الزبد لمكن للمادة أن تمارس تأثيرها في الكون ، ذلك لأنه لو كان وزن الفضاء ليس قريبا من الصفر بدرجة لا تصدق ، لكانت طاقة الكم للفراغ هي المسيطرة على ديناميكية الكون ، وليست الجاذبية .

في الفصول السابقة بينا كيف أن ثورة الكم والنسبية غيرتا من صورة الطبيعة من ساعة منضبطة الى شيء أكثر عمقا وخفاء . ولكن هذا التغيير لا يذكر بجوار تأثير ثورة المعلوماتية الجديدة . لقد سبق وذكرنا في الفصل الثاني أن نظرة العلماء للكون الفيزيائي ، تبدلت لتكون بدرجة أقل كمجموعة من التروس الميكانيكية ، وبدرجة أكثر كنظام لمعالجة المعلومات . لقد ولى عهد جسيمات المادة الصماء ، ليحل محلها ، بتات « bits » (٤) المعلومات . هذه هي الصورة النموذجية التي تبزغ للكون ، نظام معقد يحتل فيه العقل والذكاء المعلومات مكانا أسمى من المكونات المادية . لقد آن الأوان لنلقي نظرة على الحياة ، والعقل ، والذكاء ، ليس بالمعنى البشري الضيق ، بل في مضمار كوني .

هوامش الفصل التاسع

(١) تسمى النسبة المذكورة « حد شاندرا سيخار » وهي تبلغ بالتحديد ١,٤ مرة قدر كتلة الشمس . وقد حاز شاندرا سيخار على جائزة نوبل عام ١٩٨٣ ـ (المترجم) .

(٢) حرف س أو X يعني أنه مصدر لأشعة اكس ـ (المترجم) .

(٣) ولو أخذنا سمك الورقة في الاعتبار ، فسيكون عليك تصور شق ثقب خلاله لتقصير مسافة العبور من أحد الأوجه للوجه الآخر .

(٤) البت (أو البتة) هي وحدة المعلومات في علم الحاسوب . وهي مشتقة من binary digit بمعنى « رقم ثنائي » ـ (المترجم) .

الفصل العاشر

الكون الحي

اعتقدت ثقافات عديدة أن الكون كائن حي . فأرسطو المعروف بشغفه العميق بالبيولوجيا ، كان متأثرا بحقيقة أن الكائنات الحية تحفز بأهداف محددة ، بحيث تشكل أفعالها جزءا من خطة موجهة نحو هدف سابق التحديد . فعلى سبيل المثال ، حين نرى طائرا يبني عشا ، يكون من الواضح أن لهذا الفعل علاقة بوضع البيض والعناية بالصغار ، وكونه واعيا لما يفعله أمر خلافي . ولكن بالتأكيد ليست أفعاله عشوائية ، فهي لا تفسر الا على ضوء الهدف النهائي .

ومن المغري أن نعزي ما يحدث في دنيا الكائنات الحية الى الطبيعة ككل . وكثيرا ما يستخدم الناس لغة توحي بالهدف مجازا ، فنقول « يبحث الماء عن الوصول لمستواه » أو « يحاول الجو التحسن » . وفكرة كون المادة عنصرا به حياة ، بدلا من كونها شيئا أصم تتدافعه القوى العمياء ، يرجع الى شيء كامن في تكويننا .

لاحظ كيف أن الأطفال يتخيلون قصصا تشخص فيها الجوامد مثل القطارات والسيارات وحتى الجبال والسحب ، ككائنات حية ذات شخصيات ومشاعر . وطبقا لما ذهب اليه أرسطو ، فالكون بأسره يماثل كائنا حيا هائلا ، يتجه نحو هدف كوني معين . هذا المذهب يعرف بالغائية teleology (١) ، وهو يرى أن كل عملية من عمليات الطبيعة موجهة نحو غاية معينة .

ومع بزوغ شمس العلم الحديث ، وخصوصا الاطار الفكري لنيوتن، هجر المذهب الغائي (على الأقل في غير البيولوجي) واستبدل به مفهوم الساعة الكونية . ومع ذلك ، ففي أكثر الأزمنة اغراقا في الآلية والمنطق المجرد ، ما فتئت بعض الأفكار القليلة تطل برأسها لتمس وترا لدى قطاع عريض من الناس في العصور الحديثة ، تنبع من مفهوم Gaia (٢) ، المفهوم الذي يفترض أن الأرض ذاتها ، من منظور معين ، يمكن أن ينظر اليها ككائن حي ذي وحدة واحدة .

وليس من موضوع يتعارض مع هذا النمط من التفكير أكثر من لغز الحياة . فمن الوجهة الآلية الصرفة ، فان الكائنات الحية ليست الا آلات، وان كانت آلات مذهلة التعقيد . كما نظر لتطور الحياة بنفس المنطق كصورة من صور الآلية ، ولكن أضيف لها عنصر خلاق خلال التغيرات العشوائية . ويقول أغلب البيولوجيين انه ما أن دبت الحياة ، حتى أصبح التغير الجيني العشوائي والانتخاب الطبيعي كفيلين وحدهما بالوصول بها الى كافة الصور التي صارت اليها . أما فيما يختص بأصل الحياة ، فالمشكلة أعقد . ومن المفترض على نطاق واسع أن احتمال العمليات الفيزيائية الدقيقة التي أدت الى ظهور أول كائن حي ضئيل للغاية ، انها على أي الأحوال محاطة بالأسرار . ومن هذا المنظور يمكن أن تعتبر مقصورة على الأرض ، حيث انه من غير المحتمل أن تكون قد تكررت في أماكن أخرى .

وعلى النقيض من هذه الفلسفة ، تذهب الآراء الحديثة الى الاعتراف بالقدرة الخلاقة والتطورية لأغلب العمليات الفيزيائية . فالحدود الفاصلة بين ما هو حي وما هو غير حي لا يمكن أن تكون قاطعة . وأصل الحياة ليس الا خطوة (وان كانت ذات خطر) في طريق تطور المادة نحو التعقيد والاغراق في التنظيم . ولو كان للطاقة والمادة خصيصة نزوع كامنة للتنظيم الذاتي ، فان الاحتمال يكون قائما على الدوام لتكرار ظاهرة الحياة مرات ومرات ، طالما توافرت الظروف الملائمة . وفي هذه الحالة فيمكننا تصور حياة في كواكب أخرى ، بل وصور عاقلة منها . وسوف يعتبر اكتشاف الحياة في مكان ما من الكون دعامة قوية لمنطق ما بعد الآلية ، على أن يثبت طبعا أن هذه الحياة « الغريبة » قد نشأت حقا على استقلال .

وقد مكنت التطورات الحديثة في علوم الفضاء من وضع أول خطة منهجية بدائية للبحث عن الحياة خارج الأرض . وتمثل المواضيع المثارة

أهمية بالغة لتشكيل نظرتنا لأنفسنا وللحياة الطبيعية من حولنا . كما أنها ذات مؤشرات مباشرة لحاجتنا لأطر جديدة للتفكير . ولكن قبل أن نبدأ البحث ، علينا أولا أن نعرف جيدا ما الذي نبحث عنه ، فما الحياة حقا ؟

ما الحياة ؟

لا تمثل الحياة صعوبة في التعرف عليها حين نلتقي بها على الأرض ، فالناس ، والفئران ، والفطريات ، والميكروبات ، هي كائنات حية بلا جدال . ولكن ، ما الخصائص المشتركة لها جميعا ؟ ان الخصائص المتعارف عليها للحياة هي القدرة على التكاثر ، والاستجابة للمؤثرات ، والنمو . والمشكلة أن كثيرا من النظم غير الحية تشترك مع الحية في بعض من هذه الخصائص (٣) . فالنيران تتكاثر ، والبلورات تنمو وتتكاثر ، والقواقع تتراجع حين نقترب منها ، مستجيبة للمؤثرات الخارجية .

والأكثر من ذلك ، فاننا ما أن نهبط الى مستويات أدنى من مستوى الحياة العادية ، بما يتجاوز حواسنا ، خاصة البصر واللمس ، يزداد الفرق بين ما هو حي وما هو غير حي غموضا . والمثل التقليدي لذلك هو الفيروس . فعلى الرغم من حقيقة أن الأمراض الفيروسية تتضمن نشاطا بيولوجيا واضحا ، فان الفيروس نفسه لا يحقق شيئا من الخواص المذكورة ، فهي لا تتكاثر بنفسها ، ولا بمعزلة غيرها من الفيروسات . فالفيروس لا يتكاثر الا على حساب الأنشطة البيولوجية لما يغزوه من خلايا . وبمعنى آخر ، فهو يحول تلك الخلايا الى خط انتاج لحسابه . ومن هذا المنطلق يمكن اعتبار الخلية التي غزيت لم تعد حية ، حيث انها فقدت القدرة على التكاثر . ولكن الفيروس المنعزل لا يزيد عن ذرة رماد ، لا تختلف كثيرا في خواصها عن غيرها من المواد العادية عن مقدرة حيوية .

هذه المصاعب تضطرنا الى اللجوء لتعريف أكثر علمية . بالتأكيد لابد من وجود درجة عالية من التنظيم . وربما يجدر بنا أن نتحول بالمرة عن التفكير في الكائنات الحية منفردة ، ونوجه اهتمامنا للتأثيرات المتبادلة للأشكال المختلفة للكائنات الحية في مجموعها . وعلى الأرض ، يسمى ذلك المجال « المجال الحيوي biosphere » . فمن المشكوك فيه أن يتمكن كائن حي من المعيشة في انعزال على سطح الأرض ، انها الشبكة في مجموعها هي التي لها الصبغة الحيوية .

ويعيدنا ذلك ، من طريق آخر ، لمفهوم الخلايا لتعدد صور الحياة على الأرض كعناصر لكائن حي واحد ، وهو جوهر فرضية Gaia . وتنسب الفكرة الى جيم لوفلوك jim Lovelock ، واثارت على الفور جدلا حادا بين البيولوجيين والبيئيين ، ولكنها اخذت في بعض القطاعات شكل موضة ، أحيانا في تزيين لم يقل به لوفلوك نفسه . وليس المقام بكاف لعرض تفصيل لهذا الجدل ، ولكننا نريد بالفعل أن نبين أن مفهوم Gaia يقع موقعا طبيعيا من مفهوم التعقد ذاتي التنظيم . ليس هذا فقط . لو أن أشكال الحياة على الأرض قد تظهر لها كعناصر لنظام واحد أكثر تعقيدا ، سواء أطلق عليه « المجال الحيوي » أو Gaia ، فانه من المتصور انه خلال التطور المستقبل للكون قد يزداد التعقد ليشمل ليس فقط الكواكب المنفردة ، ولكن نظما متكاملة من النجوم ، وفي النهاية ، لو منح الوقت ، مجرات كاملة ، في شبكة حية من التبادل الكوني . ولكن ذلك يقع في المستقبل القصي ، واهتمامنا منصب على الطرف الآخر من السلسلة ، كيف نشأت الحياة على الأرض ؟

منذ عهد داروين ، والبيولوجيون تحت سيطرة مفهوم التطور التدريجي . فمن التسجيلات الأحفورية يمكن أن يستنبط أن الظروف الراهنة للمجال الحيوي هو حاصل خطوات لا حصر لها نحو درجات أكبر من التعقد ، والتكيف ، والرقي . فعلى سبيل المثال ، منذ خمسمائة مليون عام لم يكن هناك أي شكل من أشكال الحياة على وجه الأرض ، ومنذ مائتي مليون عام لم تكن هناك كائنات ذات عمود فقري . وأقدم حفرية تضم أبسط صور الحياة المجهرية ترجع لثلاثة بلايين ونصف البليون من الأعوام . وبالنظر لهذا التطور من البساطة والتعقيد ، مع وجود الفيروسات التي تمثل الجسر بين ما هو حي وما هو غير حي ، فمن المغري أن نتصور أن أصل الحياة على الأرض لم يكن بدوره الا خطوة من تطور أشمل ، جزء من التطور الذاتي للكون . وعلى ذلك ، فهل كان من الممكن أن تخلق الحياة من الكيماويات غير الحية ؟

أصل الحياة

ان قصة الخلق الذاتي للحياة لها تاريخ طويل . ومن الأمثلة العجيبة لذلك ظهور يرقات على قطعة لحم متعفنة ظهورا « ذاتيا » . ولكن ليس ذلك ما نعنيه الآن بنشأة الحياة من مواد غير حية . فقد أزالت أعمال لويس باستير مثل هذه التصورات الساذجة . أما دراسة الخلق الذاتي فتقع الآن تماما في مضمار علم البيولوجيا .

وقد اتخذت خطوة عملية لدراسة نشأة الحياة على الأرض بواسطة ستانلي ميلر Stanley Miller وهارولد يوراى Harold Urey من جامعة شيكاغو عام ١٩٥٣ ، في تجربة تعتبر الآن كلاسيكية . وقد ارتكزا على فكرة أنه لو تمكنا من خلق نفس الظروف التي يعتقد أنها كانت سائدة وقت نشأة الحياة معمليا ، فقد تتكرر نفس محفزات العمليات الكيميائية التي أدت لتخليق المواد الحيوية . وطبقا للأفكار التي كانت سائدة وقتها ، فقد ملأ قارورة بغاز الميثان والهيدروجين والأمونيا والماء ، اعتقادا أنها تمثل جو الأرض في تلك الحقبة السحيقة . أما الجو الحالي للأرض ، والمكون أغلبه من النيتروجين والأكسوجين ، فهو نتاج تطور طويل ، متأثر بدوره بالعمليات البيولوجية ، وهو إشارة مميزة لأي مجتمع مستكشف خارج الأرض لقابليتها لوجود الحياة على متنها .

وتضمنت التجربة التي استمرت لعدة أيام اطلاق شرارة كهربية في القارورة ، تمثل الطاقة التي كانت تستمد من الصواعق آنذاك ، وأخذ لون المحلول في الاحمرار ، وحين حلل وجد أنه يحتوى على مقادير لا بأس بها من جزيئات عضوية «٤» تسمى الأحماض الأمينية . والأحماض الأمينية ليست جسيمات حية ، ولكنها اللبنات الأساسية للبروتينات ، والتي هي عنصر أساسي للأجسام الحية . فبداخل خلاياك تترجم أكواد من حمض D.N.A. بواسطة حمض R.N.A. الى جزيئات بروتينية عاملة ، تقوم بوظائف الحياة . وبدا الأمر للبعض ، وكان ذلك في مطلع الخمسينيات ، أن ميلر ويوراى في طريقهما لانتاج الحياة معمليا . ولا تنكر أن البون شاسع بين انتاج عدة أحماض أمينية وأول كائن حي متكاثر ، الا أن اعتبار ملايين السنين التي مرت على الأرض تجعلنا نتصور أن هذا الحساء من الأحماض الأمينية قد تطور بالتدريج الى جزيئات أكثر تعقيدا ، بينما الجزيئات العضوية تتدافع وتتجمع بطرق شتى .

ولكن للأسف ليس الأمر بهذه السهولة ، لسبب ذكرناه لتونا ، الا وهو حمض DNA . ففي نفس عام تلك التجربة الشهيرة ، قام فرانسيس كريك Francis Krick وجيمس واطسن James Watson «٥» من جامعة كامبردج بوضع أول هيكل للحمض المذكور ، وهو الحلزون المزدوج الشهير ، ممهدين الطريق نحو دراسات أعمق لرفع الية التي تسير عليه الحياة على الأرض . وحتى ذلك الحين ، كانت هناك مدرسة محترمة تعتقد أن البروتينات هي سر الحياة ، ومن ثم فان انتاج الأحماض الأمينية خليق بأن يكشف لنا عن ذلك السر . وبعد اكتشاف أهمية حمض DNA ، كان طبيعيا أن تحجم أهمية تلك الخطوة .

وتعتمد كافة صور الحياة على الأرض على هاتين المجموعتين من الكيميائيات ، الأحماض النووية والبروتينات ، وكلتاهما مكونة من الكربون والهيدروجين والأكسوجين ، مع مقادير قليلة من مواد أخرى كالفسفور والكبريت . وتخلق البروتينات من عشرين نوعا من الأحماض الأمينية بتراكيب مختلفة (ليس كل بروتين يحتوى على العشرين جميعا) . وهي ذات دورين ، كعناصر بنائية ، وكمحفزات (يطلق عليها اسم « الزيمات ») للعمليات الكيميائية الجوهرية . ولولا وجود المحفزات لنشاطات العمليات الحية الى أن تتوقف . والأحماض النووية هي المسئولة عن تخزين الكود الجيني ونقله . وهو كافة المعلومات عن بناء الكائن وتشغيله ، ويتضمن الكود كل التعليمات لتخليق بروتين معين أو انزيم معين . واحد الأحماض النووية ، وهو D.N.A. يأخذ شكلا أصبح مألوفا ، وهو سلسلة طويلة من حلزون مزدوج ملتف . وهو موجود حيث يراد فك شفرة نسيج الكائن أو تشغيله .

وتتكون المواد غير العضوية ، كالماء والهواء من ذرات عنصرين أو ثلاثة مترابطة بقوة التجاذب الكهربية . أما جزىء الـ D.N.A فقد يتكون من عدة ملايين من الذرات . وفي الواقع ، فكل خلية في جسمك تحتوى على ما طوله ، حين يمد الى نهاية أطرافه ، مائة وثمانين سنتيمترا من الـD.N.A وتنظيم كل هذه الذرات ليس عشوائيا ، بل بترتيب غاية في التعقيد . فتغيير قليل فيه يؤدى للفرق بين الفيل والبعوضة ، أو بصورة أكثر غموضا ، بينك وبين الشمبانزى . والتنوع المذهل لصور الحياة على الأرض يعكس التنوع في ترتيب تلك الوحدات البنائية .

وفي الواقع ، فان عدد طرق ترتيب ذرات الكربون والأكسوجين والهيدروجين في سلسلة D.N.A. كبير بشكل لا يتصور . واحتمال تكوين عشوائي لحمض بذلك التعقيد يحمل شفرة الجنس البشرى هو غاية في الضآلة . ولو أن هذا ما حدث بالفعل ، فان الحياة تكون معجزة بمعنى الكلمة .

ولكن ماذا عن الانتخاب الطبيعي الداروينى ؟ الا يمكن لهذه العملية وحدها أن تكون مسئولة عن هذا التعقيد ؟ للأسف ، ان التأثيرات التطورية التقليدية تعجز عن دفع الحساء قبل الحيوى تجاه مادة حية حقيقية .

بمفهوم الفرد الأقوى ، والأكثر تكيفا ، والذى يملك مزايا على أقرانه ، ويمكنه بالتالى البقاء وشغل البيئة بنسل أكثر منهم ، من الصعب تصوره لجزيئات غير حية لا تملك التكاثر بنفسها على أية حال .

والنقلة من الأحماض الأمينية الى البروتينات لا يعرف عنها الا القدر اليسير . وأقل منه عن أصل الأحماض النووية . ويتصور أن نوعية ما من حساء ميلر يوراى البدائى يمكنه ، لو ترك على حاله ، أن يجد نفسه متجها آليا الى النوع الصحيح لتركيب الجزيئى . فعلى سبيل المثال ، يتسبب فعل الانزيم المكون عشوائيا فى تركيز نوع ما من الجزيئات بدرجة أكبر على حساب أنواع أخرى . ولو أن هذه الجزيئات بدأت فى تكوين ذات الانزيم الذى ساعد على تفضيلها ، فان الدورة تصبح متوالية فى أعلى وأعلى من التعقد الى أن يتمخض الأمر فى النهاية عن أول جزئ هائل الحجم مستطيع التكاثر . وتسهل المسيرة بعد ذلك ، حيث يبدأ ذلك الجزئ فى تحويل الحساء من حوله الى نسخة من ذاته . بعد ذلك يفتح المجال للتطور كما ارتآه داروين ليقوم بنشاطه .

هل هكذا بدأت الحياة ؟ هذا ما يدعيه كثير من العلماء . ولو صح زعمهم ، فان الخلق المباشر من الكيميائيات الميتة يكون أيسر من أن يثير كل ذلك العجب . ان عمر الأرض لا يزيد عن أربعة بلايين عام ونصف البليون من الأعوام . وظلت لمدة ملايين من الأعوام عرضة لضربات عنيفة من الصواعق والشهب ، بينما تسجل أقدم حفرية لحياة أولية ثلاثة بلايين ونصف البليون من الأعوام . الأمر الذى يبين أنه ما ان تكونت الأرض حتى بدأت رحلة الحياة . هذا التأهب دفع بالكثير من العلماء الى الاعتقاد بأن الحياة تطور تلقائى حتمى لعمليات فيزيائية مناسبة ، صورة بديلة من المادة تنزع طبيعيا حين تجد المادة الخام المناسبة . واذا كان الأمر كذلك ، فانه يكون من الواضح أن الحياة أبعد من أن تكون معجزة ، بل هى بالأحرى احدى الظواهر الطبيعية الشائعة للكون . واذن ، فأين هى ؟

عوالم من ورائنا

منذ عصر كوبرنيكس ، لخمسة قرون خلت تقريبا ، والبشرية لا تفتأ تتلقى دروسا بعد الأخرى يلقنها أنه ما من شئ متميز حول الأرض . فهى مجرد كوكب عادى بالقرب من نجم عادى فى منطقة ما من مجرة عادية . هل لنا أن نتصور أن نشأة الحياة هى استثناء من هذه « الوسطية » ؟

ثم ترانا يجب أن نستطرد فيما بينه كوبرنيكس ، ونقول ان الحياة بدورها نتاج عادى لتطور كوكب كالأرض ؟

لو كانت الحياة تنشأ تلقائيا بالفعل حين توجد الظروف المواتية ، فان بحثنا عن مخلوقات كونية يتحول الى البحث عن مواضع تتحقق فيها تلك الظروف . فما أن يوجد كوكب شبيه بالأرض فى مكان ما من المجرة ، حتى يبدأ دبيب صورة ما من الحياة ، طبقا لوجهة النظر هذه . ولكن بحثنا فى المنطقة المجاورة لنا غير مشجع . تشقيقات أمنا الأرض الثمانى فى المجموعة الشمسية يختلف جميعهن عنها فى مسألة استضافة الحياة ، ولكن مع ذلك ، فلم يتم استبعادهن تماما .

فلوقت طويل كان المريخ أقوى مرشح لوجود حياة شبيهة بما على الأرض فى عائلة النظام الشمسى . فجوه وان كان لا يقارن فى قسوته بجو الأرض ، فهو أشد برودة وأخف بكثير من جو الأرض ، الا أن صورا من الحياة توجد على الأرض فى مثل تلك الظروف ، ويمكنها بلا جدال العيش على سطحه لو نقلت الى هناك . والأكثر من ذلك ، فقد وجدت شواهد على أن الماء ، وهو مكون أساسى للحياة ، قد وجد هناك منذ وقت مضى .

ومن المهم أن نتذكر أن الحياة تطورت على الأرض فى أشكال متعددة ، كل منها تكيفت ببراعة مع الظروف الفيزيائية الخاصة ببيئتها الخاصة ، رغم أن تلك الظروف قد تختلف اختلافا بينا على سطح الكرة الأرضية . فالبكتيريا مثلا يمكنها أن تعيش وسط حمأة من الماء المغلى ، بينما تعيش كائنات ميكروبية فى وسط جليد انتاركتيكا ، حيث لا تختلف الظروف كثيرا عنها على المريخ . وحتى لو كانت الظروف الحالية غير قادرة على الاحتفاظ بشكل من الحياة على سطح المريخ ، فانه من المتصور أن تكون الحياة قد ظهرت فى مرحلة رطبة سابقة من تطور الكوكب ، ثم تكيفت الى الظروف الحالية التى نراها غير ملائمة للحياة .

وقد كان المريخ عرضة لعمليات استكشاف طويلة للبحث عن الحياة فيه ، كجزء من مهام المركبتين اللتين هبطتا على سطحه فى أوائل السبعينيات من سفينتى الفضاء فايكنج . وقد أجريت أربع تجارب للكشف عن تأثير كائنات حية على تربته ، كتلك التى تعيش على سطح الأرض . وقد أدت احدى هذه التجارب لنتائج ايجابية ، والأخرى لنتائج سلبية ، وأدت الثنتان لنتائج محيرة وغير متوقعة . ولا تنفى نتيجة سلبية وجود الحياة ،

بل فقط تعنى عدم اكتشافها (٦) . والنتيجة الايجابية يجب ان تؤخذ كتأكيد لوجود الحياة ، ولكن مع الغموض فى التجربتين الأخريين فان ذلك يثير احتمال وجود عيب فى اجراءات التجربة ، ومن ثم فلا يجب الأخذ بها على علاتها . ومن هذا المنطلق كان حذر أغلب العلماء ، فهم يذهبون الى القول بوجود نشاط كيميائى على سطح المريخ ، ولكنهم لا يجازفون بالقول بوجود نشاط لكيمياء حيوية . وعلى ذلك ، فعلى ضوء نتائج سفينة الفضاء فايكنج ، مازال موضـــوع الحياة على المريخ مفتوحا ، رغم أن الصور المرسلة تبين أنه ، على الأقل بالقرب من المركبتين ، لا توجد اشجار او حيوانات .

ولعل الامل يكون اكبر على سطح المشترى ، وفى القمر الهائل تيتان لكوكب زحل ، وكلاهما موضوع لبحث سلسلة الرحلات الفضائية فوياجير فى الثمانينيات . ويعتقد الكثيرون ان الظروف على سطح المشترى ، رغم برودته الفائقة ، تتشـابه مع الظروف البدائية للأرض : فكميات غازى الأمونيا والميثان ، مع العواصف والأعاصير المنبقة تشابه ، من منظور معين ، تجربة ميلر ــ يوراى على نطاق هائل . كما ان تركيبته متعددة الطبقات تعطى ظروفا كيمائية وفيزيقية مختلفة واسعة المدى ، قد توائم بعض منها ظروف الحياة ، بل ان اللون السائد فى بعض احزمة المشترى ، وهو اللون الأحمر الضارب للصفرة ، هو نفس اللون الذى تمخضت عنه تجربة ميلر ــ يوراى .

وبالنسبة لتيتان ، والذى وجد باردا لدرجة تدعو للاحباط ، له جو كثيف من النيتروجين ، ومن المحتمل أن تكون له بحار من النيتروجين السائل . وهو يشبه صورة من الحساء الحيوى فى حالة برودة شديدة ، وضع فى حالة تخزين بالتبريد حين تكون النظام الشمسى منذ أربعة بلايين من الأعوام . ولكن الشمس ، طبقا لأكثر التوقعات الفلكية اعتيادية ، سوف تتزايد حجما لتصبح عملاقا أحمر ، وتشع بالتالى قدرا اكبر من الطاقة ، فهل سيكون ذلك بمثابة اخراج تيتان من ذلك التبريد الفائق وتدفئته الى الحالة التى تعتبر مثالية لنشوء الحياة ؟ ربما يكون الفرق بيننا وبين بقية أعضـــاء النظام الشمسى من حيث وجود الحياة ، فرقا زمنيا وليس مكانيـــا .

وتعتبر بقية أعضاء المجموعة التى وعدنا بوجود حياة فيها . ويكمن الأمل الحقيقى الآن فى نجوم أخرى . وتحتوى مجرتنا وحدها على بليون

شمس ، العديد منها يمكن أن تكون مصحوبة بتوابع تشبه أرضنا ، وتجعل منها مكانا ملائما لنشـــأة الحياة . وحيث ان أقوى تلسكوباتنا (عدا التلسكوب الفضائى هابل حين يتم اصلاح ما به من عطب) غير قادرة على الكشف عن مثل هذه التوابع ، فان الامر يظل فى طى الافتراضات فقط . وعلى الرغم من اختلاف الآراء حول العدد الممكن للكواكب التى لها ظروف تشبه الأرض ، وحول مدى القرب اللازم بالضبط من ظروف الأرض يجب ان يكون عليه كوكب ماهول ، فالعدد هائل بدرجة تدعو للدهشة لو ان قدرا منها ليس ماهولا بالفعل ، حتى لو كان ذلك القدر لا يزيد عن نسبة مئوية ضئيلة . فهذا القدر يمثل بالنسبة لمجرتنـــا فقط عدة ملايين من الكواكب مؤهلة للحياة كما نعرفها . ناهيك عن بقية المجـــرات .

مثل هذه الافتراضات ، مع ذلك ، تنبع من نظرة تعصبية للذات ، فلماذا يجب أن تتفق البيولوجيا الغريبة مع معطياتها عن الأرض ؟ الا يمكن للحياة أن تتخذ صورا شتى ، ليست بالضرورة مكونة من البروتينات والأحماض النووية ؟

ان حمض د.ن.ا. ما هو الا واحد من صور لا تحصى من السلاسل الجزيئية الطويلة المؤسسة على كيمياء الكربون . فمن الذى يمكنه توقع التكوينات الأخرى ؟ هل من حقنا ان نجزم بأن هذه التركيبة بالذات هى الوحيدة التى تمثل اســاس البيولوجيا ؟ وماذا عن العناصر البديلة للكربون ، كالسيليكون ؟ فعنصر السيليكون مثلا ، رغم كونه ليس فى تعدد مزايا الكربون ، يمكنه ان يقوم بنفس الدور كيميائيا . ان الصور المتاحة من مصادر الطاقة والتفاعلات الكيميائية ، لتؤدى بنا الى ان نعتبر بدائل لا حصر لها . ولكن لكونها جميعا افتراضية ، فهى لا يمكن أن تؤخذ بجدية . والسبب الوحيد فى اخذنا لنموذج البيولوجى المبنى على د.ن.ا. هو اننا نعرف كيف يعمل على الأرض .

ولو أن الحياة تأسست بالفعل على كيمياء بديلة ، لأمكنها ان تزدهر فى اشد البيئات شذوذا . وقد اطلق عنان الخيال لصور شيقة عن كائنات تسبح فى بحار النيتروجين على سطح تيتان ، وتزحف فى صحراوات المريخ الجرداء . وفيما وراء النظام الشمسى ، يمكن لبلايين من الكواكب ان تضم شتى الصور الغريبة من أشكال الحياة . وفى الواقع ، فان تقبل فكرة الكيمياء البديلة يدفعنا الى استبعاد الا توجد احدى صور الحياة على كل كوكب من الكواكب . فان التنظيم الذاتى والتعقيد اللذين يشكلان

حتى النظم البيولوجية لا يتطلبان أولا وأخيرا سوى نظام مفتوح تسرى فيه الطاقة والانتروبيا ، ومصدر مناسب للطاقة (وهو ما يعنى عادة فرقا فى درجات الحرارة) •

حياة بدون عوالم

وقد تجاوز بعض العلماء حتى مفهوم الكيمياء الغريبة ، واقترحوا فكرة وجود حياة فى مكان ما مؤسسة ليس على الكيمياء بأسرها ، بل على عملية ما من عمليات الفيزياء المعقدة • والمثال الواضح هو ما قصه فريد هويل Fred Hoyle فى قصته الخيالية « السحابة السوداء The black cloud » • فقد تصور هويل فى هذه القصة سحابة ضخمة رقيقة من غاز بين – نجمى تمثل كائنا مفكرا هادفا ، يتحرك بين النجوم ليتغذى على الطاقات المتاحة •

وفى السنوات الأخيرة أسس هويل نظرية مفصلة مبنية على هذه الفكرة • وبالتعاون مع تشاندرا ويكراماسنج Chandra Wickramasinghe يذهب الآن الى أن الحبيبات المجهرية التى تكون عادة مثل تلك السحب بين – النجمية (والتى يتفحصها العلماء مستخدمين الأشعة تحت الحمراء) هى فى الحقيقة بكتيريا متحوصلة داخل أغلفة واقية • ويتحدى الاثنان الفكرة التقليدية بأن الحياة قد نشأت على الأرض ، وأعادا الحياة لنظرية قديمة وضعها منذ مائة عام العالم السويدى سفانت أرانيوس Svante Arrhenius • وهو الذى قام ، بالاضافة للعديد من الأعمال الأخرى ، بعمل حسابات مفصلة عن ظاهرة الصوبة الخضراء • وقد ذهب أرانيوس الى أن الحياة قد تكون منتشرة خلال المجرة على شكل كائنات مجهرية محمولة على ذرات غبارية وتتحرك بدفع أشعة الضوء • وفى صياغة هويل – ويكراماسنج ، فان أعدادا هائلة من كائنات مجهرية مختلفة الأنواع تغزو الفضاء بين النجمى ، مستعدة لاكتساح أى جسم مناسب ، ككوكب أو مذنب • وقد يفسر هذا بشكل جميل كيف بدأت الحياة على وجه الأرض بهذه السرعة بعد بدء تكوينها ، وما يتضمنه ذلك من أن كواكب أخرى قد تكون قد غزيت بالحياة بمثل هذه السرعة • وباعطاء الكيمياء قبل الحيوية بلايين من السنين تمارس خلالها نشاطها على مادة السحب بين النجمية قبل أن يؤذن حتى للأرض أن تتكون ، تجعل النظرية من موضوع الحياة تبزغ من اللاحياة بمجرد الصدفة أمرا أقرب للتصديق (٧) • ولكن من الصعب اعطاء وزن كبير على المفهوم الافتراضى لهويل وويكراماسنج بأن أرضنا تغزوها باستمرار كائنات مجهرية من

الفضاء ، مسئولة عن الموجات الوبائية لأمراض كالانفلونزا • والاختبار الجوهرى لمثل هذه الأفكار هو وجود (أو عدم وجود) حياة على كوكب المريخ • فحيث ان هذا الكوكب هو المرشح الأول للغزو من هذا القبيل – وانه من الصعب تخيل كائنات مجهرية يمكنها ان تقاوم الظروف القاسية للفضاء بين – النجمى تفشل فى تثبيت أقدامها هناك – فان كل نتيجة سلبية لاختبار وجود الحياة على المريخ يحسب على النظرية •

كيف اذن يمكن استكشاف الحياة خارج الأرض ، اذا كانت بقية كواكب النظام الشمسى عارية منها ؟ فسابرتنا الفضائية لن تجتازها فى مستقبل قريب • فاذا ما اتضح عقم شقيقاتنا من كواكب النظام الشمسى ، هل معنى ذلك أن يظل الموضوع فى طى الخيال العلمى ؟ ربما لا ، حيث انه يوجد طريق آخر لاختبار التصور بأننا لسنا وحدنا فى الكون •

الغرباء فى الكون

رغم ان اكتشاف أصغر ميكروب فضائى سوف يغير تماما من نظرة البشر للكون ، فان العجب الحقيقى يحيط بامكانية وجود أشكال أخرى للحياة العاقلة ، ومجتمعات غريبة متقدمة تكنولوجيا • وقد سار كتاب الخيال العلمى طويلا وراء هذه التطلعات ، وربما سايرهم بعض العلماء • ولكن ، ما الحقائق ؟

على الأرض ، يبدو أن الذكاء مقرون بقيمة عالية للبقاء ، وانه نتيجة تلقائية للضغوط التطورية • والذكاء ليس مقصورا على الانسان ، فهو موجود فى غيره أيضا كالدلافين • ومن السهل أن نندفع للاعتقاد بأنه ما أن تدب الحياة حتى تتطور تدريجيا وتلقائيا الى صور أكثر تعقيدا ، بحيث انه حين يشتد الصراع من أجل البقاء يكتسب السلوك الأكثر ذكاء أفضلية أكبر فى عملية الانتخاب • وفى الواقع ، فالقفزة من وحيدة الخلايا الى الانسان تبدو أكثر قربا للفهم من القفزة من الحساء قبل الحيوى الى حمض د٠ن٠أ• وطبقا لفلسفة كهذه ، اذا ما كانت الحياة منتشرة فى أرجاء الكون ، فكذا يكون الذكاء ، وربما أيضا التقدم التكنولوجى • هى نتيجة تفتح باب الأمل فى امكانية جديدة تماما للكشف عن الحياة خارج الأرض • فبدلا من البحث عن صور الحياة ذاتها ، يمكن البحث عن آثارها التكنولوجية •

والاقتناع بوجود صور مختلفة (وربما ذكية) من الحياة على سطح الأرض بمجرد رؤية تل للنمل ، دون رؤية نملة واحدة هو نوع من قصر النظر . ومنذ مائة عام ، كان الفلكي برسيفال لويل Percival Lowell مقتنعا أن مجتمعا متقدما قد أنشأ شبكة قنوات على سطح المريخ . وللأسف ! فان الأشكال المبهمة التي تخيلها من خلال تلسكوبه اتضح أنها تنتمي للانفعالات النفسية أكثر من انتمائها لحقيقة فيزيقية ، ولكن عبثا استخدام التلسكوب للبحث عن آثار حضارات أخرى لاتزال قائمة .

كيف يمكن لمجتمع بعيد أن يكشف عن وجوده لنا ؟ ان أقرب نجم (بعد الشمس) يقع على بعد أكثر من أربع سنوات ضوئية (حوالي ٢٤ مليون مليون ميل) . وأكثر الآراء تفاؤلا لا تتوقع مجتمعا ذكيا أقرب من عشرة ، أو حتى مائة سنة ضوئية . ورصد مثل هذه الحضارات بصريا أمر خارج عن المناقشة .

والأسلوب الأكثر مدعاة للتفاؤل هو الرصد اللاسلكي . فالتلسكوب الراديوي له قدرات وكفاءة تفوق زميله البصري ، جزئيا بسبب طريقة تجميعها بحيث تتضاعف القوة الرصدية . فبعض مثل تلك النظم تكون مكافئة لهوائي بحجم الكرة الأرضية بأكملها . وللأسف ، فما من جهاز على سطح الأرض له حساسية تمكن من التنصت على اشارة في مستوى ما تلتقطه أجهزة التلفاز والمذياع المنزلية ، حيث ان الالتقاط يتم من كافة المصادر المحيطة بالكرة الأرضية . ويختلف الأمر كثيرا لو تركز الالتقاط من مصدر بعينه . والتلسكوب اللاسلكي المركب في المرصد الراديوي بالقرب من أريكيبو Arecibo بدولة بورتوريكو مقدرة على الاتصال بجهاز مماثل في أي مكان بالمجرة ، لو فقط علم في أي اتجاه تتوجه بالارسال أو التنصت . فالتكنولوجيا الأرضية اذن قادرة على اقامة اتصال مع أية حضارة توازيها تقدما في المجرة . وقد سيطرت فكرة التخاطب عبر اللاسلكي على خيال كثير من العلماء وغير العلماء على السواء ، رغم كونها مدعاة للكثير من الاعتراضات . فما الذي يدفع « هؤلاء القوم » لتجشم الارسال لنا ؟ وكيف يعلمون بوجودنا أصلا ، وأن لدينا من التكنولوجيا ما يمكننا من استقبال اشاراتهم ؟ وعلى أية حال ، فما الجدوى من مثل هذا الاتصال طالما أن سرعته محدودة بسرعة الضوء ، لتستغرق الرسالة بذلك عقودا ، أو أكثر ، من السنين ؟ وأيضا ، لماذا يستخدم « هؤلاء القوم » اللاسلكي ، وليس تكنولوجيا أكثر تقدما لم نوفق

لاكتشافها بعد ؟ ربما تكون هناك شبكة اتصالات كونية تعمل بالفعل بين حضارات أكثر تقدما منا ، ونحن غير واعين لها .

البحث عن مخلوقات الفضاء

لم تثبط هذه الاعتراضات من عزيمة أنصار الاتصالات الفضائية للأسباب الآتية ، ان عمر الأرض الآن ٤٫٥ بليون عام ، حوالي ثلث عمر المجرة لا غير . وقد تطلب الأمر ٤ بلايين عام لتطور الحياة على الأرض من الكائنات المجهرية الى عصر التكنولوجيا الحديثة . فلو أن الحياة قد تطورت بهذه السرعة في الكواكب التي سبقت الأرض في التكوين في المجرة ، فان تقدمهم التكنولوجي سيكون قد ازدهر قبل تكوين الأرض بمدة طويلة . والامكانات المحتملة لحضارة سبقت الأرض بآلاف ، أو ملايين ، أو حتى آلاف الملايين من السنين لا يمكن تخيلها . ولعل مسألة مثل مخاطبة كل نظام نجمي في المجرة تعتبر تافهة بالنسبة لهم . أما عن معرفتهم بنا ، فلا ننسى اننا تسببنا في بث اشارات لاسلكية عبر الفضاء تصل في انتشارها الى خمسين سنة ضوئية حتى الآن ، وما من شك في أن حضارة بالتقدم الذي نتصوره قادرة على أن تحس بهذه الضوضاء التي بثت في الفضاء ، حتى لو كانت امكاناتنا نحن لا تسمح لنا بذلك . وبتاريخ يبلغ آلاف وآلاف السنين ، فلعل عدة عقود في مدة التراسل مقبولة لهم ، حتى ولو كانت فترة حياة الفرد منهم في مثل عمرنا المتوسط ، وهو أمر خليق بألا يعتقد به . وبالاضافة لذلك ، فان مجتمعا بمثل ذلك التطور ، حين يحاول اقامة اتصال بمجتمع ما يزال يحبو في تطوره التكنولوجي (نحن) ، فبالتأكيد انهم سيلجأون الى أكثر الوسائل احتمالا ، وهو اللاسلكي .

ولو افترضنا أن شخصا ما هناك يحاول الاتصال بنا ، فان العقبة الكبرى في استخدام اللاسلكي هي اختيار ذبذبة التراسل . فمع المدى اللاسلكي بأكمله ، كيف لنا أن نعرف الموجة التي سوف يخاطبوننا عليها ؟ في هذا الخصوص قدم جيوسيبي كوكوني Giuseppe Cocconi وفيليب موريسون Philip Morrison من معهد Messachusetts Institute of Technology معهد التكنولوجيا بماساشوستس اقتراحا وجيها . ان أي مجتمع له خبرة في مبادىء الفلك الراديوي يجب أن يكون على دراية بالخلفية الراديوية التي تصدرها سحب الهيدروجين حول الأذرع اللولبية لمجرة درب التبانة . ان هذا « الهمس » هو أول ما يسمعه راصد لاسلكي ، فأي تردد أكثر منه تلقائية في الاستخدام في الاتصال عبر الفضاء

(أو ربما نصفه أو ضعفه لتلافي تداخل ذلك « الهمس ») يمكن اختياره ؟ هذه اذا كان رفاقنـــا في الفضـــاء يفكرون في نفس خـــط كوكوني وموريســـون ....

وقد بلغ الحماس للاتصال بالخارقات الفضائية ببعض الفلكيين درجة اتخاذ بعض الخطوات الفعلية . وقد بينت نتائج تحليل القدر الضئيل من الاشارات المستقبلية من النظم النجمية القريبة عن عدم وجود ما يمكن اعتباره اشارة لحضارة عاقلة . ويتطلب تحقيق قدر معقول من النجاح مجهودات أكثر طموحا وشمولية . وقد قام فلكيو الراديو بمحاولة بارسال دفعة اشعاع راديوى من مرصد أريكيبو تجاه كوكبة هائلة من النجوم ، في عمق درب التبانة . ويتطلب ، بسبب تشتتها في رحلتها البالغة عشرة ملايين سنة ضوئية . أن تستقبل من أي كوكب يصادف أن يكون دوارا حول نجم من الآلاف المكونة للكوكبة . وعلى العموم ، فان موضوع الاتصال بالكائنات الفضائية العاقلة يعتبر امرا خلافيا بحيث لا يسمح الا بقدر ضئيل من وقت المراصد الراديوية يخصص له ، ناهيك عن اقامة شبكات ضخمة من المراصد الراديوية كما يتطلب لأبحاث جادة في الموضوع .

أين هـــم ؟

أحد أكثر النتائج المستخلصة من تحليل بسيط لاحتمال وجـــود مجتمعات خارج الأرض اثارة للشجن يتعلق بعدد الحضـــارات المتقدمة تكنولوجيا والمحتملة وجودها في المجرة . ان النجوم والكواكب لا تفتأ تتكون ، ولما كانت نشأة حياة وتطورها امرا محتملا لكل كوكب مناسب ، فان ذلك يعنى ظهور عـــدد أكثر وأكثر من الحضـــارات باستمرار . وبنظرة متفائلة ترى في ذلك امرا محتوما لكل كوكب يدور حول نجم كالشمس ، فان معدل وصول مجتمع جديد لمستوى الاتصال الراديوى عبر الفضاء يكون حالة لكل عقد من السنين ، فقد على مدى عشرة بلايين عام سابقة على تكوين الأرض ، عن اعتبار أن المجرة عمرها أربعة عشر بليون عام ، والأرض أربعة بلايين من الأعوام .

وهذه نتيجة مذهلة ، تعنى أننا ، ولما يمض على اكتشافنا للاتصال اللاسلكى سوى عدة عقود من السنين ، حديثون للغاية في النادى اللاسلكى الكونى في حالة تواجده . أما بقية الأعضاء فعلى قدر أكبر من التقدم في هذا المجال .

على أن عددا من مثل هذه المجتمعات يعتمد اعتمادا شديدا على العمر المفترض للحضارات المتقدمة ، وعلى معدل المواليد . فلو أن الأرض دمرت

غدا ، وان حالتنا تمثل نموذجا قياسيا ، فيعنى ذلك أن حضارة واحدة فقط في المتوسط هي القادرة على الاتصـــال اللاسلكى عبر الفضاء على مستوى المجرة في كل فترة زمنية محدودة . ومعنى ذلك أننا الممثلون لهذه الوضع حاليا ، وفي عزلة تامة . فنحن أكثر الحضارات تقدما في المجرة بأكملها في وقتنا هذا . أما اذا كان العمر الافتراضى للحضارة المتقدمة هو عشرة بلايين عام ، فان ذلك يعنى حوالى مليون حضارة منها تغطى درب التبانة في نفس الوقت . أغلبها قطعت أشواطا أكبر في التقدم منا .

وهنا يثير التساؤل الصعب والمثير الذى صاغه صراحة لأول مرة الفيزيائى الايطالى انريكو فيرمى Enrico Fermi ، والذى ، من بين أعمال أخرى، أعطى النيوترينو اسمه . اذا كانت الحياة بمثل هذا الانتشار عبر المجرة على اتساعها ، فمن الصعب علينا أن نتصـــور لماذا لم تنشأ الحضـــارات المتقدمة من مليون من الأعوام . ألم يكن حريا بها أن تكون قد استعمرت المجرة بأسرها في الوقت الحاضر ؟

ولنتصور كيف يتحقق ذلك . تخيل ان حضارتنا قد شيدت مركبة فضاء هائلة ، وزودتها بالطاقة اللازمة لبقاء الحياة على متنها عدة آلاف من السنين . وليس ذلك عصيا على حضارتنا اليوم ، لو كانت هناك ارادة لذلك . سيبدأ عدد من المغامرين في الانطلاق بسرعة متواضعة ، بحثا عن موضع جديد لهم . وبالسرعة المتاحة حاليا ، يتطلب الوصول الى أقرب نجم عشرة آلاف عام . المهم أنه بعد عدة آلاف من السنين سيكون كوكب جديد قد استعمر ، وبعد مدة مماثلة يكون قد ازدحم ، فتبدأ مرحلة جديدة من الهجرة ، وهكذا .

وباتباع سياسة كهذه ، فانه بعد عشرة ملايين عام لا غير ، وهى فترة وجيزة بالمقاييس الفلكية ، تكون المجرة البالغ اتساعها مائة ألف سنة ضوئية قد استعمرت بالكامل . وفي تصور آخر ، يمكن أن سيوكل اليهم استعمار المجرة أن يرســـلوا بدلا عنها مسابر من الناس آلية (روبوتات) ، وهو ما يتجاوز امكانات حضارتنا الحالية بقليل ، تحمل مواد جينية (بعض من بويضات وحيوانات منوية مجمدة ، أو ببيض مخصب متجمد ، أو حتى جزيئات حيوية مصحوبة بالمعلومات الجينية مكودة في ذاكرة الروبوت لتنشط في تخليق الـ د٠ ن٠ أ٠ بمجرد الوصول) بحيث تبذر الحياة ـ بالمفهوم الحرفى ـ في تربة الكوكب المناسب عند وصولها .

ورغم أن الكثيرين قد يشكون في أن تجد حضارة ما الدافع للقيام بهذا العمل ، حتى ولو تمكنت من القيام به تكنولوجيا ، فلنتذكر انه يكفي ان تقدم على ذلك حضارة واحدة على هذه المغامرة ، خلال عمر المجرة البالغ اربعة عشر بليونا من الأعوام (أى حضارة من بين بليون حضارة محتملة ، طبقا للأرقام التى أوردناها) وتجد المجرة قد امتلأت بنسلها الآن • اذن ، فأين هم ؟

والمشكلة تبدو مستعصية بالنسبة لمن يؤمنون بوجود الذكاء في مكان ما من الكون • ربما هم هنا بالفعل ، ولكننا اقل من أن نشعر بهم ، كالنمل يمضي في حياته غير واع لوجود جنس من البشر يلاحظهم • وربما ، كما يحلو للمهووسين بالكائنات الفضائية الغامضة أن يدفعونا للاعتقاد به ، تكون الأرض تحت ملاحظة دقيقة من البعض ، يحول بيننا وبين الاحساس بها سبب نجهله • او ربما يوجد ميكانزم ذاتى يؤدى لتدمير أية حضارة تتجاوز قدرا معينا من التقدم ، قبل أن تدخل عصر الغزو الفضائي • وربما تكون نفس القوى التطورية المؤدية لزيادة الذكاء مؤدية أيضا للعدوانية ، بحيث تنتهى الحضارة بالفناء النووى أو ما أشبه ، او بتدمير البيئة وافساد مقدرة الكوكب على الحفاظ على بقائه • ويقدر اقل من الاحتمالات الكئيبة قد يكون السفر عبر الفضاء محاطا بمشاكل لم نعرفها بعد • واقل من ذلك احتمالا أن تكون الحياة على الأرض حالة خاصة بحيث لا تكون الأرض مضيافة لصور أخرى من الحياة • وبالتأكيد لا يمكن أن نكون الوحيدين من ذوى الحضارة التكنولوجية على مستوى المجرة ، أو الكون !

من المادة الى العقل

في مقال ظهر في أواخر الثمانينيات ، بعنوان « المعلومات ، الفيزياء ، الكم ، البحث عن الروابط « Information, Physics, Quantum : The search for Links » ذهب الفيزيائي جون هويلر الى أنه لا مفر من استخلاص أن « العالم لا يمكن أن يكون آلة هائلة ، يحكمها قانون فيزيائي مفروض سلفا » • بل الأكثر دقة في رأيه أن نفكر في الكون الفيزيائي كنظام مهول من نظم معالجة المعلومات ، لم تحدد مخرجاته بعد •

وتجسيدا لهذا التغير الجذرى في منهج التفكير ، أطلق هويلر الشعار : « it from bit »(٨) • بمعنى أن كل « شيء » ويقصد بها أى جسيم ، أو مجال لقوى ، أو حتى زمكان ، يئول في النهاية الى (بتات) ، اى وحدات معلومات •

وعمليات العلم هي عمليات استجواب للطبيعة ، فكل تجربة قياس، وكل ملاحظة ، يستخلص منها رد من الطبيعة على هيئة وحدات من المعلومات • ولكن طبيعة الكم في أساسها قد جعلت كافة القياسات والملاحظات تؤول الى اجابة من اثنتين : نعم ، و لا • هل الالكترون في طاقته الدنيا ؟ نعم • هل لف الالكترون متجه لأعلى ؟ لا • وهكذا • وبسبب عدم اليقين المبنى في أعماق فيزياء الكم ، فانه ليس من الممكن التنبؤ بالاجابة سلفا • والأكثر من ذلك ، وكما فهمنا في الفصل السابع ، فان للشاهد دورا جوهريا في مخرجات قياسات عمليات الكم • الاجابات ، وتعتمد طبيعة الحقيقة المستخلصة في جزء منها ، على الأسئلة المطروحة •

وهويلر من اشد أنصار مبدأ « الكون المتشارك participetory universe » • والذى يعنى أن الشاهدين يمثلون المركز في تحديد طبيعة الحقيقة الفيزيائية ، وأن المادة مجال أمرها للعقل • ويعتبر فرانك تيبلر Frank Tipler من جامعة تولين Tulane بنيو اورليانز ، من أنصار نفس الأفكار أيضا ، الا أن موقفه مختلف • فهو يرى أن دور المشاهد لما يزل غامضا ، ويعتقد أن الذكاء سوف ينتشر في النهاية عبر الكون ، مساهما بدرجة أكثر وأكثر في أنشطة الطبيعة ، حتى يصل الى تلك الدرجة التى يصبح بها هو نفسه الطبيعة •

وطبقا لآرائه ، فالحياة الذكية ، أو ربما الرب للصحة شبكة من الحاسبات ، سوف تنتشر من كوكب ما (ربما الأرض) وتتسع في سيطرتها ببطء ، ولكن بثقة ، ليس فقط على النظام الشمسى ، أو المجرة ، بل على الكون بأسره ، وهو تصور يحاكي ما ذهب اليه اليسوعى بيير تايهارد دى شاردين Pierre Teihard de Chardin ولكن مع جعل التكنولوجيا هي العامل الحاسم • وعلى الرغم من الاحتمال أن تستغرق العملية تريليونا من الأعوام ، فان أوج هذا التحول التكنولوجي لماهية الطبيعة يتمثل في دمج الكون بأسره في نظام معلوماتي واحد ! وعمليا ، يكون الذكاء قد اختطف النظام المعلوماتي الطبيعى الذى تطلق عليه الكون، واستغله لصالحه •

ونحن نذكر هذه الأفكار التى نقر بظنيتها لنبين التغيير العميق في المنظور الذى صاحب عصر ما بعد الآلية كنمط للتفكير • فبدلا من مادة شبه متحجرة في آلة نيوتن المترامية الأطراف ، لدينا شبكة مترابطة من تبادل المعلومات ، نظام مفتوح شمول غير قطعى ، مزدحم بالامكانات

ومصنع بتراه لا ينضب ، وان العقل البشرى لنتاج ثانوى من هذه العملية العالمانية الشاسعة ، ولكنه نتاج ثانوى قادر على فهم أبعاد العملية ، على الأقل جزئيا .

وقد أسس ديكارت صورة العقل البشرى كنوع من مادة هلامية توجد على استقلال عن الجسد ، وفى مرحلة متأخرة بكثير ، سخر جيلبرت رايل Gilbert Ryle من هذا الازدواج بإشارة للجزء العقلى بـ « الشبح فى الآلة » ، وقد عبر رايل عن نغمة اللاذع خلال مرحلة من أوج انتصار المادية والآلية .

و « الآلة » التى أشار إليها كانت الجسد البشرى والعقل البشرى ، باعتبارهما مجرد أجزاء فى آلة كونية أكبر . ولكن حين أطلق هذا التعبير البليغ ، كانت الفيزياء الحديثة تشق طريقها ، هابطة بالنظرة للعالم التى كانت الأساس لفلسفته . واليوم وعلى عتبة القرن الواحد والعشرين ، يمكننا أن نرى أن رايل كان على حق فى رفض ذلك الشبح فى الآلة ، ليس لعدم وجود الشبح ، بل لعدم وجود الآلة .

هوامش الفصل العاشر

(١) مشتقة من الكلمة الإغريقية [illegible] بمعنى « بهاء » — (المترجم) .

(٢) إلهة الأرض عند الإغريق — (المترجم) .

(٣) وهو فى الواقع تعبير أعم عن مبدأ التنظيم الذاتى للنظم المعقدة ، حية كانت أو غير حية .

(٤) الجزيئات « العضوية » هى جزيئات تحتوى على الكربون ، وهو عنصر له خاصية مميزة للتكوين جزيئات أكثر تعقيدا بالترابط بذرات عناصر أخرى أهمها الهيدروجين . هذه الجزيئات المعقدة مرتبطة بالأجسام الحية ، ومن ثم كانت تسميتها . ولكنها يمكن أن تنتج أيضا بطرق أخرى ، ولذا فهى وإن كانت ضرورية لوجود الحياة فإنها ليست دالة قاطعة على وجود الحياة .

(٥) حاز على جائزة نوبل عام ١٩٦١] (المترجم] .

(٦) فمصيدة الذبابة تقام فى تجويف بالغدة لا تصطاد أية ذبابة ، ولكن ذلك لا ينفى وجود الذبابة على سطح الأرض .

(٧) أقرب للتصديق نظريا ، حيث أنه يوجد وفرة من الزمن ، ولكنها أصعب تصديقا من الناحية التطبيقية ، حيث أن المدى الواسع للظروف الفيزيائية والكيميائية على مستوى المجرة ككل يجعل من الصعب معرفة من أين يمكن البدء لوضع نظرية تفصيلية لنشأة الحياة .

(٨) كلمة [illegible] تعنى وحدة المعلومات ، وتترجم « بت » أو بتة » ، أما [illegible] نفسه فلدى عالم بوجهه ، حيث سيفقد معناه ككل العبارات المتكررة المعتمدة على التلاعب اللفظى — (المترجم) .

كشــــاف

(ب)

ت

ث

ج

ق

ك

ل

و

ى